Measurement value processing system for biological object - mathematically evaluates and compares with given measurement value structures

Publication number:	DE4039648 (A1)
Publication date:	1992-07-16
Inventor(s):	WENDLER ROLF [DE]; GRIESSBACH GERT DR [DE]; GRIESSBACH JUERGEN [DE]; WITTE HERBERT DR [DE]; SCHWIND GERALD [DE]
Applicant(s):	WENDLER ROLF [DE]; GRIESSBACH GERT DR [DE]; GRIESSBACH JUERGEN [DE]; WITTE HERBERT DR [DE]; SCHWIND GERALD [DE]
Classification:	
- international:	***A61B5/04; A61B5/0476; A61B5/0488; G06F19/00;*** **A61B5/04; A61B5/0476; A61B5/0488; G06F19/00;** (IPC1-7): A61B5/00; A61B5/02; A61B5/04; A61B5/103; A61F2/48; G01D1/02; G01D1/14; G01D1/18; G01D5/12; G06F15/36; G06F15/42; G08B21/00
- European:	A61B5/04R; A61B5/0476; A61B5/0488H
Application number:	DE19904039648 19901212
Priority number(s):	DE19904039648 19901212

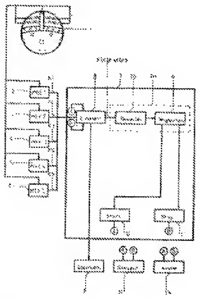
Cited documents:

DE3920526 (A1)
DE3741874 (A1)
DE3734829 (A1)
DE3532620 (A1)
DE3409792 (A1)

more >>

Abstract of **DE 4039648 (A1)**

A measurement value processor (7) is coupled to the biological object (1) via multichannel measurement value detectors (2,3,4,5,6) e.g. various sensors. The processor is coupled to auxiliary devices (12,13,14). The processor has a first device (8) for entering the measurement values from at least one of the detectors, a second device (9) for comparing the measurement values with given values, a third device (10) for starting the auxiliary devices when a first predetermined value is attained and a fourth device (11) for stopping them when a second predetermined value is attained. The second device has given single or multi-channel measurement value structures. The third device operates when a first measurement structure has been attained. The fourth device operates when a second structure has been attained. A fifth device (20) between the first and second devices serves as an evaluator for calculating characteristic values from series of measurement values for reduction of data. USE/ADVANTAGE - Human or veterinary medicine. Operates in real time.



Description of DE4039648	Print	Copy	Contact Us	Close

The invention refers to a measured variable processing mechanism in the preamble of the patent saying of 1 mentioned type.

Such measured variable processing mechanisms, over more-canal, z. B. when sensors are formed recording of measurement mechanisms with a biological object connected, are well known. By the recording of measurement mechanisms received measurement values become compared with predetermined values. With correspondence the received values become stored, alarm means operated or a controller of the measuring object made. Due to high sampling rate modern recording of measurement mechanisms and high measuring channel number results a large amount of data, which is to be processed only difficult one.

The invention is the basis the object to create a simple constructed measured variable processing mechanism the recording of measurement more-canal with safe operation and - processing in real time masters.

The received measurement values with predetermined measured value structures compared become according to invention. The data reduction the received measurement values become mathematical evaluated. Thus particularly short measured variable processing times result.

Developments of the invention are in the Unteransprüchen indicated.

The invention becomes more near explained on the basis the drawing.

Show:

Fig. 1 an illustration of a first embodiment of the invention,

top

Fig. 2 a trigger module in a first embodiment,

Fig. 3 a trigger module in a second embodiment,

Fig. 4 a trigger module in a third embodiment,

Fig. 5 a measured variable processing mechanism in a second embodiment,

Fig. 6 a measured variable processing mechanism in a third embodiment,

Fig. A1 a recording of measurement system with input and output relationships,

Fig. A5 the operation of a trigger module,

Fig. A6 the schematic structure of the structure and pattern recognition by means of complex triggering.

As in Fig. 1 shown, is a biological object over several measuring channels k1 to k5 von Messwerterfassungseinrichtungen 2, 3, 4, 5, 6 with a measured variable processing mechanism 7 connected. The measured variable processing mechanism 7 covers a reading in mechanism 8 to reading of measurement values or several channels of a k1; k2; k3; k4; k5 of the recording of measurement mechanisms 2, 3, 4, 5, 6. The measurement values at least channel a k1; k2; k3; k4; k5

become an evaluation mechanism 20 supplied, which is formed to the calculation of values of characteristics from measured value sequences.

By the characteristic computation of the evaluation mechanism 20 a made significant data reduction. The calculated characteristics become comparison means 9 supplied, which compare the characteristics of the measurement values with predetermined measured value structures. Evaluation mechanism 20 and comparison means 9 form together a so called trigger module, which will become appended still more near explained.

With correspondence of the characteristics of the measurement values with the predetermined measured value structures a launch facility becomes 10 activated, the one attachment 12, 13, 14 starts. The attachment can be as control means 12 formed, which are 1 provided for steering the biological object. In addition, the attachment can be as storage means 13 formed, in order to store the read in measurement values starting from activating the launch facility 10. An other possibility consists of the fact that the attachment is 14 formed as warning device to displays of an undesirable functional state of the biological object 1. Of course the explained attachments can be 12, 13, 14 single or in combination with the measured variable processing mechanism 7 connected. The stop mechanism 11 becomes activated, if correspondence with a second predetermined measured value structure is present. The stop mechanism 11 is analogous 14 connected to the launch facility 10 with the attachments 12, 13.

The Fig. 2 to 4 shows the possible structure of trigger modules TM. The trigger module TM in Fig. 2 exhibits two parallel disposed evaluation mechanisms 20, those different measuring channels k1; k2; k3; k4; k5 associated are. The determined characteristics of both evaluation mechanisms 20 become the comparison means 9 supplied, those with correspondence with predetermined measured value structures the launch facility 10 and/or. the stop mechanism 11 activate.

The trigger module TM in Fig. 3 shows two evaluation mechanisms 20, the measuring channels k1 different in series connected are and those; k2; k3, k4; k5 associated are. The evaluation mechanisms 20 connected in series are, like already foregoing explained, with the comparison means 9 connected.

The trigger module in Fig. a combination of the trigger modules of the Fig shows 4. 2 and 3. Two evaluation mechanisms 20 are in each case in series and other two evaluation mechanisms 20 connected parallel in addition whereby the respective evaluation mechanisms of 20 different measuring channels k1; k2; k3; k4; k5 associated are.

As appended still incoming explained will become, the pre-determined measured value structure knows a simple pattern of data, z. B. a sequence of numbers its, can have however an essential more complicated structure.

The evaluation mechanism 20 is so constructed that characteristics, like z. B. Peak values of measured value sequences, mean values of measured value sequences, effective values of measured value sequences, quantile values of measured value sequences determined become.

The evaluation mechanism 20 can be also to the formation of slidable average value estimations, slidable moment function estimation of the measured value sequence, to the formation of slidable moment function estimations, of recursive estimates of the moment function, by recursive estimates of the centered moment function of the measured value sequence, to the formation of recursive estimates for values of the autocorrelation function, of recursive estimates of functions accumulated differences of the measured value sequence, of recursive estimates of the quantile value interval borders of the measured value sequence, by recursive estimates of the mean value in form of the quantile interval center of the measured value sequence, by adaptive mean values of the absolute amount of the measured value sequence, to the formation of adaptive formed mean values of a corrected measured value sequence, to the formation recursive cross correlation functions and to the formation recursive estimates of functions accumulated cross differences of the measured value sequences to the determination of the characteristics formed.

top

The evaluation mechanisms 20, as, present in a plurality, z. B. into the Fig. 2 to 4 shown, can be thereby to the determination different characteristics formed.

In Fig. 5 is an other embodiment shown, in which between comparison means 9 and launch facility 10 and between comparison means 9 and stop mechanism 11 a time influence mechanism 30 connected is. The time influence mechanism 30 is so formed with the fact that the activation of the launch facility 10 and/or the stop mechanism 11 temporal after correspondence with the pre-determined measured value structures or temporal before correspondence with the pre-determined measured value structures made. Of course also one of the mechanisms 10 can; 11 temporal after correspondence and the other one of the mechanisms 11; 10 before correspondence of the pre-determined measured value structures activated becomes.

In illustrated embodiments the time influence mechanism is not 30 between two evaluation mechanisms 20, between two comparison means 9 and/or between evaluation mechanism 20 and comparison means 9 connected.

Like Fig. , are adjustment means 40 show 6 for adjustment the scanning frequency between the recording of measurement mechanisms 2, 3, 4, 5, 6 and the reading in mechanism 8 connected. The adjustment means 40 can be with the fact so formed that the scanning frequency becomes by means of detected average value passages of the measured

value sequences or determined by means of recursive detected average value passages of the measured value sequences.

Appended one the made illustration mathematical bases for the invention article, as well as the explanation of the invention article on the basis concrete embodiments.

A. Theory of generalized triggering

In the subsequent portions terms are such as trigger, triggering, trigger criterion, adaptive triggering, complex triggering, structure recognition by means of triggering and. A. mathematical described and in relation to known technical realized trigger procedures generalized becomes.

The Verallgemeinerung of the term triggering made regarding:

- Type and structure of releasing signal status,
- the process adaptability by means of methods of the stochastic approximation (adaptive triggering),
- the complexity of the trigger connections,
- the temporal regime of triggering.

A. 1. Triggering in recording of measurement systems

Bottom triggering becomes the general start or Storn of a procedure by a signal A (t) (pulse, flank change o. A.) understood. The signal A (t) becomes also as trigger signal or short trigger designated, it rests against a trigger channel ka. For recording of measurement systems this definition is to be specified regarding or the stopping (measuring) procedure which can be started as well as the trigger signal A (t) more near.

From a technical problem definition a measuring procedure is to become started or stopped, if on the trigger channel a signal structure assignable from preliminary investigations adjusts itself. In addition the signal A (t) at the trigger channel monitored and with digital recording of measurement system becomes evaluated by means of mathematical methods. From the requirements of the technical problem definition out the made definition of signal status (defined signal status or trigger criterion), according to which the trigger signal A (t) monitored will and after its occurring triggering triggered becomes.

It is S a recording of measurement system sees also Fig. A1.
K= k< i> i=1< L> the amount of the input channels of the system is S and AI: i ELEMENT 1. . . , L, is the ith input channel of the system S;
L - max. Number of channels.

At the channel the k< i>, i@L, i ELEMENT N lying close signal becomes with x< i)< t) designated and
EMI8.1
at the channel the k i< are > to the times T1. . . , detected series of measurements existing from Ni< INFINITY, Ni ELEMENT N measurement values. Further Ka SUBSET K is a subset of the input channels (Ka - amount of the trigger channels) with Ka= ka< 1>. . . ka< R> with R@L, R ELEMENT N.

top

Definition A1

Triggering is the start/stop (measuring) of a procedure on or several input channels AI ELEMENT K to the time TA after first occurring a defined signal status (z. B. Pulse, flank change) to the time of width unit on at least one of the input channels ka< i> ELEMENT approx.

The input channels ka< i> become also as trigger or release channels designated.

One receives finite series of measurements of the shape to the corresponding type of the release of the measuring procedure
EMI8.2
with
ta@t1 for start (measuring) of the procedure and/or.
ta@ for stop (measuring) of the procedure.

Regarding the time course of triggering the times TA become - time of the release start/stop (measuring) of a procedure and
width unit - Time of first occurring a defined signal status on at least one of the release channels discriminated.

It applies: ta= rope v+te with rope v ELEMENT R

rope v=ta-te and rope v - delay time of triggering

Definition a2

1. Pre triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: TA< width unit; (rope v< 0), D. h. the release start/stop of a measuring procedure to the time TA made temporal before occurring a defined signal status to the time of width unit on a release channel out approx.
2. post office triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: TA> width unit; (rope v> 0), D. h. the release start/stop of a measuring procedure to the time TA made temporal after occurring a defined signal status to the time of width unit on a release channel out approx.
3. (com) triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: ta=te; (rope v=0), D. h., occurring a defined signal status on a release channel from Ka releases the start/stop of a measuring procedure without time delay.

It is ELEMENT Ka a release channel and an aluminium (t) the trigger signal resting against the channel, which becomes monitored on occurring a defined signal status (pulse, flank change). If the course of the signal becomes aluminium (t) over longer periods tracked, this with repeated occurrence of defined signal statuses a corresponding indexing of TA and width unit of the form requires one behind the other: width unit< i> - ith time of occurring a defined signal status on the release channel,
TA< i> - ith time of the release start/stop (measuring) of a procedure. (A 1/1)

Prior considerations of the signal aluminium (t), resting against the release channel, presuppose its steadiness. If the signal becomes only in discrete form detected, (for instance in digitized form over the recording of measurement system of a computer) or is present it only to discrete times, then one speaks of discrete triggering.

It the made transition to an equidistant time base of the form: t=r. DELTA t, with r ELEMENT G and company - scanning frequency, become detected with which the values at the release channel,
EMI10.1

Occurring a defined signal status can now only to a discrete time te=s. DELTA t, s ELEMENT G recognized become.

After introduction and definition of the term triggering in recording of measurement systems made the corresponding requirements to systems with alternate operating conditions the construction of process-adapted trigger procedures. This happens first on the base of deterministic trigger signals and becomes in the portions A 3/A 4 on stochastic trigger signals generalized. In the subsequent portions A 5/A 6 bases for process-adapted trigger procedures for the indication of complex signal patterns and structures shown become.

A. 2. Triggering on base of deterministic signals

In the center of the subsequent 3 portions the possibility of the mathematical description of defined signal status (trigger criterion) and the determination of the time of width unit of first occurring the trigger criterion are to stand.

Are T and A two arbitrary amounts from R. sigma T and/or. sigma A are sigma algebras over Borelmengen from T and/or. A. The trigger signal A (t) with A: t> A (t) is (sigma T, sigma A) a measurable function with the definition area T and values in A. The type and structure of the trigger criterion descriptive function h a function of values from AxA is more measurable into an amount H &sube& R and (sigma AxA, sigma H) -, whereby sigma H is a sigma algebra of subsets from H.

top

Definition A3

width unit ELEMENT T is called time of width unit of first occurring the trigger criterion if applies: width unit: =min t: h [A (t), A (t*)] ELEMENT He; He ELEMENT sigma H; t, t* ELEMENT T.

The condition h (A (t), A (t*)) ELEMENT He the defined trigger criterion after that the trigger signal A (t) monitored will, it becomes also as trigger condition designated. He is called trigger quantity.

The trigger criterion is only by several conditions characterizable, defined one width unit through
EMI11.1

is now a function vector of the form = (h1. . . , hQ), Q ELEMENT N and
He=He< 1> x. . . xHe< Q> ELEMENT sigma He< 1> x. . . x He< Q>,
whereby the rear sigma Ax sigma A, - measurable functions of values from AxA in H< i> &sube& H &sube& R are and a system of subsets from rear ones are, which are to become introduced terms and definitions on the basis some examples illustrated.

1. Limit value triggering

It applies: h=I - identical mapping
Q=1, t=t*
H=A, thus is h [A (t), A (t*)]=a (t) and
<D> width unit< g> =min t: A (t) ELEMENT He, t ELEMENT T.

He= (AG -<,> AG +<)> is a continuous open interval from R with AG< -> = - INFINITY or AG< -> ELEMENT R fixed and AG< +> = INFINITY or AG< +> - @ag +, then< one> receives<> the subsequent known trigger criteria to ELEMENT R fixed and AG.
EMI12.2

2. Difference triggering

It applies: Q=1, t*=t sigma, sigma >0, fixed
He= [AG< ->, INFINITY), AG< -> @0.

h is defined by h [A (t), A (t*)]=< September> A (t) - A (t*)< September> and the time of first occurring the trigger criterion by <D> width unit< g> =min t: <September> A (t) - A (t sigma) (September)<> AG< ->, t ELEMENT T.

Defined signal status becomes here characterized by a precipitous change of the signal process, D. h. the time of width unit becomes as time defined, to which itself the signal process A (t) within a defined time interval sigma around more than the value AG< -)<> 0 changes.

Remarks

1. Beside the pure difference or spacer triggering an additional assessment of the tooth alignment can low high and/or. high low to the characterization of defined signal status to be consulted, one speaks then also of trend triggering. The function h becomes then defined without the amount: h (A (t), A (t*)): =a (t) - A (t*) of width unit certain one during difference triggering also
Low High change through,
EMI13.1
and also for High Low changes through
EMI13.2

2. In the case of discrete triggering with equidistant scanning frequency applies:
EMI14.1

One receives the time of the first entry of the trigger criterion (difference triggering) after:

top

3. Monotonic IE triggering
It applies: The trigger criterion is here definable from the mono tonus behavior of the trigger A (t), it applies:
EMI14.4

A.3. Stochastic approaches for triggering of measuring procedures

Prior considerations and definitions for triggering presupposed deterministic trigger signals. Used one for triggering process signals, is this given no longer (see. Chapter. A.2.). At the trigger signal ka the detected signal becomes therefore in the following as stochastic process (Xi) i ELEMENT T construed, whereby T i. A. as amount of times (time base) interpreted becomes.

XT.= (Xi) i ELEMENT T, (T NOTE AGONY 0) is a family of random variables over a common probability area [OMEGA, @, P] with values in a measurable space [E, @].

X (t, omega) can become as mapping of Tx OMEGA in E construed. For fixed t ELEMENT T as function of omega is X (t, omega) (@, @) - measurable X (t, omega) =Xi (omega) for fixed t.

In the following @i &sube& @die sigma is - algebra of the events, which can occur in connection with the process Xi up to the time t. @i is the sigma generated of the sizes (Xs, s@t) - algebra, @t= sigma (Xs, s@t).
(@i) i ELEMENT T is then an ascending family of sigma - bottom algebras of @, the form @s &sube& @i &sube& @, @s, t

ELEMENT T with s@t.

Definition A4:

It is [OMEGA, @, P] a probability area and (@i) a i ELEMENT R< +> an ascending family of sigma - bottom algebras of @B ([0, t]) is sigma - algebra of Borel amounts over [0, t]. A random process (Xi) i ELEMENT R< +> defined on [OMEGA, @, P] with values in [E, B] is called more measurable concerning. the family (@i), if for each t ELEMENT R< +> the mapping (t, omega) -> Xi (omega) from (0, t) x OMEGA in [E, @] more measurable concerning. that sigma - algebra is, those from B ([0, t]) x@i generated becomes.

First the term of the stop time is to become introduced.

Definition A5:

A mapping rope of a nonempty amount OMEGA t &sube& OMEGA with values in T is called stop time concerning (@i) i ELEMENT T or short (@i) - stop time if @t ELEMENT T the relationship rope @t ELEMENT @i applies.

The amount T becomes from now on the corresponding requirements with discrete recording of measurement systems as amount of discrete times viewed with T= t< 1>, t< 2>. . . , t< N>. . . , N ELEMENT N.

Set A1

EMI16.1
a sequence random sizes is over [OMEGA, @, P] with values in [E, B], ti ELEMENT T &sube& R and T= t< 1>, t< 2>. . . , t< N>. . ..

h is a measurable mapping of E1x. . . xEM> R: M ELEMENT N, M< INFINITY and egg &sube& E@i. Then is the mapping width unit (omega): width unit: OMEGA -> T also
EMI16.2
one (@i) - stop time.

Evidence

There h a measurable mapping of E1 min x. . . xEM> R is, applies for h< -1)< S min) ELEMENT sigma E1x. . . xE, @S min ELEMENT @R.

It is to be still shown: omega: width unit (omega) @t ELEMENT @t with @i= sigma (Xs, s@t); @T ELEMENT T.

top
This applies after the subsequent conditions
EMI16.3

In the following now the time is to become width unit of first occurring the trigger criterion on X rope as stop time introduced, whereby the trigger criterion is to become now over stochastic properties and features of the process Xt defined.

For the description of the trigger criterion serves a mapping h of
EMI17.1
with values in a measurable space [H, @], also
EMI17.2

For fixed T1, t2. . . , tN as function from omega is

Definition A6
It is He a subset of H and h a mapping of
EMI17.4
in H. Then designated one the condition
EMI17.5
as trigger criterion (trigger condition). He is called trigger quantity.

Definition A7

The mapping width unit with width unit: OMEGA -> T is called time of first occurring the trigger criterion h ELEMENT He if applies:

Inference A1
It is N=1; [H, @]: = [E, @] and h (t, omega) =X (t, omega) a random process. @i an ascending family of sigma is - bottom algebras of @.

Then is the mapping width unit: =inf (t: Xi (omega) ELEMENT He, t ELEMENT T) one (@i) - stop time.

Evidence

Identical mapping follows &squf& from set A1 with M=1 and h=I

It is
EMI18.1
a sequence temporal successive if necessary dependent random variables defined on [OMEGA, @, P] with values in [E, @]. It applies for E Xt= mu < INFINITY.

The trigger criterion becomes in the following over properties of sample functions of the sequence
EMI18.2
introduced. The estimate of the trigger time of width unit made over the slidable estimate of sample functions.

a) Determination of width unit over the slidable average value estimation

Inference a2

It is h< 1> a mapping of
EMI18.3
whereby applies
EMI18.4
one (@i) - stop time.

Evidence

top
Follows A1 and measurability characteristics from set also
EMI19.1
that is, as linear combination measurable sizes Xt (omega) h is again more measurable.

b) Determination of width unit over slidable moment function estimation

Inference A3

It is <m> h< K> a mapping of
EMI19.2
whereby applies
EMI19.3
one (@t) - stop time.

Evidence

<m> h< K> a measurable function is, the statement follows thus from set A1 &squf& after measurability characteristics

Remark

For K=2 the slidable estimate of the 2 corresponds. Moment function of an estimate of the effective value to the square of the sequence
EMI19.4

c) Determination of width unit over slidable centered moment function estimation

Inference A4

It is <Z> h< K> a mapping of
EMI20.1
whereby applies
EMI20.2
one (@i) - stop time.

Evidence

Analogous evidence inference A3 &squf&

Remarks

1. For K=2 the slidable estimate of the 2 corresponds. centered moment function of the estimate of the scattering of the sequence
EMI20.3

2. Mu if unknown is, becomes mu by the estimate
EMI20.4
in accordance with inference a2 replaced.

The major drawback of stochastic approaches to the definition of trigger times on base of sample functions is in the inertia of the indication of the trigger criterion as well as in the small possibilities of the adaptability because of particular signal structures of the release channel. The implementation of this triggering by means of computer-aided recording of measurement systems requires an high storage requirement, as well as extreme high processing speeds. The overcoming of these disadvantages is bottom use of methods of the stochastic approximation possible to the construction of recursive trigger procedures.
Are from large practical interest methods, which are realizable by means of computer-aided recording of measurement systems in real time and with small memory requirements.

top

A.4. Triggering on base of methods of the stochastic approximation

The determination of the trigger time made also here over the estimate of characteristics of sample functions. To the estimate the made construction of recursive methods of the shape:
EMI21.1
whereby W represents a measurable function, defined on RxE with values in R. To the sequence gamma t applies:
EMI21.2

The convergence of these methods can become by means of methods of the stochastic approximation detected. The theory of the stochastic approximation supplies both the possibility a variety of such recursive estimators to design, and to principles with for an adaptive design of these procedures.

Bottom Adaptivität becomes thereby a matching of the estimate algorithms at changed structure conditions (Instationaritäten) of the processes understood, whereby if necessary a renouncement of convergence in the classic sense made. This approach becomes detailed described in the portion B.

On the base of the general approaches to the stochastic approximation the made construction of recursive processes of estimation for characteristics of sample functions. In the following results of portion B become the definition and determination of the trigger time width unit used. The methods are characterised by an high process adaptability.

Of great importance one is thereby the choice of the sequence gamma n, over which the speed of the matching (adaptation) of characteristics at signal structures and patterns can become controlled. On impact and definition options of the sequence gamma n detailed treated becomes in the portion B.2.

a) Estimate of width unit over the recursive estimate of moment functions

Inference A5

It is <m> h< K> a mapping of
EMI22.1
whereby <m> h< K> in accordance with recursive
EMI22.2
calculated becomes, one (@i) - stop time.

Evidence

h is met as function measurable sizes again measurable and thus the conditions of the set 1 &squf&

Remarks

1. For K=1 the made estimate of the average value function of the sequence Xt.

top

Result Page

The invention refers to a measured variable processing mechanism in the preamble of the patent saying of 1 mentioned type.

Such measured variable processing mechanisms, over more-canal, z. B. when sensors are formed recording of measurement mechanisms with a biological object connected, are well known. By the recording of measurement mechanisms received measurement values become compared with predetermined values. With correspondence the received values become stored, alarm means operated or a controller of the measuring object made. Due to high sampling rate modern recording of measurement mechanisms and high measuring channel number results a large amount of data, which is to be processed only difficult one.

The invention is the basis the object to create a simple constructed measured variable processing mechanism the recording of measurement more-canal with safe operation and - processing in real time masters.

The received measurement values with predetermined measured value structures compared become according to invention. The data reduction the received measurement values become mathematical evaluated. Thus particularly short measured variable processing times result.

Developments of the invention are in the Unteransprüchen indicated.

The invention becomes more near explained on the basis the drawing.

Show:

Fig. 1 an illustration of a first embodiment of the invention,

top

Fig. 2 a trigger module in a first embodiment,

Fig. 3 a trigger module in a second embodiment,

Fig. 4 a trigger module in a third embodiment,

Fig. 5 a measured variable processing mechanism in a second embodiment,

Fig. 6 a measured variable processing mechanism in a third embodiment,

Fig. A1 a recording of measurement system with input and output relationships,

Fig. A5 the operation of a trigger module,

Fig. A6 the schematic structure of the structure and pattern recognition by means of complex triggering.

As in Fig. 1 shown, is a biological object over several measuring channels k1 to k5 von Messwerterfassungseinrichtungen 2, 3, 4, 5, 6 with a measured variable processing mechanism 7 connected. The measured variable processing mechanism 7 covers a reading in mechanism 8 to reading of measurement values or several channels of a k1; k2; k3; k4; k5 of the recording of measurement mechanisms 2, 3, 4, 5, 6. The measurement values at least channel a k1; k2; k3; k4; k5

become an evaluation mechanism 20 supplied, which is formed to the calculation of values of characteristics from measured value sequences.

By the characteristic computation of the evaluation mechanism 20 a made significant data reduction. The calculated characteristics become comparison means 9 supplied, which compare the characteristics of the measurement values with predetermined measured value structures. Evaluation mechanism 20 and comparison means 9 form together a so called trigger module, which will become appended still more near explained.

With correspondence of the characteristics of the measurement values with the predetermined measured value structures a launch facility becomes 10 activated, the one attachment 12, 13, 14 starts. The attachment can be as control means 12 formed, which are 1 provided for steering the biological object. In addition, the attachment can be as storage means 13 formed, in order to store the read in measurement values starting from activating the launch facility 10. An other possibility consists of the fact that the attachment is 14 formed as warning device to displays of an undesirable functional state of the biological object 1. Of course the explained attachments can be 12, 13, 14 single or in combination with the measured variable processing mechanism 7 connected. The stop mechanism 11 becomes activated, if correspondence with a second predetermined measured value structure is present. The stop mechanism 11 is analogous 14 connected to the launch facility 10 with the attachments 12, 13.

The Fig. 2 to 4 shows the possible structure of trigger modules TM. The trigger module TM in Fig. 2 exhibits two parallel disposed evaluation mechanisms 20, those different measuring channels k1; k2; k3; k4; k5 associated are. The determined characteristics of both evaluation mechanisms 20 become the comparison means 9 supplied, those with correspondence with predetermined measured value structures the launch facility 10 and/or. the stop mechanism 11 activate.

The trigger module TM in Fig. 3 shows two evaluation mechanisms 20, the measuring channels k1 different in series connected are and those; k2; k3, k4; k5 associated are. The evaluation mechanisms 20 connected in series are, like already foregoing explained, with the comparison means 9 connected.

The trigger module in Fig. a combination of the trigger modules of the Fig shows 4. 2 and 3. Two evaluation mechanisms 20 are in each case in series and other two evaluation mechanisms 20 connected parallel in addition whereby the respective evaluation mechanisms of 20 different measuring channels k1; k2; k3; k4; k5 associated are.

As appended still incoming explained will become, the pre-determined measured value structure knows a simple pattern of data, z. B. a sequence of numbers its, can have however an essential more complicated structure.

The evaluation mechanism 20 is so constructed that characteristics, like z. B. Peak values of measured value sequences, mean values of measured value sequences, effective values of measured value sequences, quantile values of measured value sequences determined become.

The evaluation mechanism 20 can be also to the formation of slidable average value estimations, slidable moment function estimation of the measured value sequence, to the formation of slidable moment function estimations, of recursive estimates of the moment function, by recursive estimates of the centered moment function of the measured value sequence, to the formation of recursive estimates for values of the autocorrelation function, of recursive estimates of functions accumulated differences of the measured value sequence, of recursive estimates of the quantile value interval borders of the measured value sequence, by recursive estimates of the mean value in form of the quantile interval center of the measured value sequence, by adaptive mean values of the absolute amount of the measured value sequence, to the formation of adaptive formed mean values of a corrected measured value sequence, to the formation recursive cross correlation functions and to the formation recursive estimates of functions accumulated cross differences of the measured value sequences to the determination of the characteristics formed.

top

The evaluation mechanisms 20, as, present in a plurality, z. B. into the Fig. 2 to 4 shown, can be thereby to the determination different characteristics formed.

In Fig. 5 is an other embodiment shown, in which between comparison means 9 and launch facility 10 and between comparison means 9 and stop mechanism 11 a time influence mechanism 30 connected is. The time influence mechanism 30 is so formed with the fact that the activation of the launch facility 10 and/or the stop mechanism 11 temporal after correspondence with the pre-determined measured value structures or temporal before correspondence with the pre-determined measured value structures made. Of course also one of the mechanisms 10 can; 11 temporal after correspondence and the other one of the mechanisms 11; 10 before correspondence of the pre-determined measured value structures activated becomes.

In illustrated embodiments the time influence mechanism is not 30 between two evaluation mechanisms 20, between two comparison means 9 and/or between evaluation mechanism 20 and comparison means 9 connected.

Like Fig. , are adjustment means 40 show 6 for adjustment the scanning frequency between the recording of measurement mechanisms 2, 3, 4, 5, 6 and the reading in mechanism 8 connected. The adjustment means 40 can be with the fact so formed that the scanning frequency becomes by means of detected average value passages of the measured

value sequences or determined by means of recursive detected average value passages of the measured value sequences.

Appended one the made illustration mathematical bases for the invention article, as well as the explanation of the invention article on the basis concrete embodiments.

A. Theory of generalized triggering

In the subsequent portions terms are such as trigger, triggering, trigger criterion, adaptive triggering, complex triggering, structure recognition by means of triggering and. A. mathematical described and in relation to known technical realized trigger procedures generalized becomes.

The Verallgemeinerung of the term triggering made regarding:

- Type and structure of releasing signal status,
- the process adaptability by means of methods of the stochastic approximation (adaptive triggering),
- the complexity of the trigger connections,
- the temporal regime of triggering.

A. 1. Triggering in recording of measurement systems

Bottom triggering becomes the general start or Storn of a procedure by a signal A (t) (pulse, flank change o. A.) understood. The signal A (t) becomes also as trigger signal or short trigger designated, it rests against a trigger channel ka. For recording of measurement systems this definition is to be specified regarding or the stopping (measuring) procedure which can be started as well as the trigger signal A (t) more near.

From a technical problem definition a measuring procedure is to become started or stopped, if on the trigger channel a signal structure assignable from preliminary investigations adjusts itself. In addition the signal A (t) at the trigger channel monitored and with digital recording of measurement system becomes evaluated by means of mathematical methods. From the requirements of the technical problem definition out the made definition of signal status (defined signal status or trigger criterion), according to which the trigger signal A (t) monitored will and after its occurring triggering triggered becomes.

It is S a recording of measurement system sees also Fig. A1.
K= k< i> i=1< L> the amount of the input channels of the system is S and AI: i ELEMENT 1. . . , L, is the ith input channel of the system S;
L - max. Number of channels.

At the channel the k< i>, i@L, i ELEMENT N lying close signal becomes with x< i)< t) designated and
EMI8.1
at the channel the k i< are > to the times T1. . . , detected series of measurements existing from Ni< INFINITY, Ni ELEMENT N measurement values. Further Ka SUBSET K is a subset of the input channels (Ka - amount of the trigger channels) with Ka= ka< 1>. . . ka< R> with R@L, R ELEMENT N.

top

Definition A1

Triggering is the start/stop (measuring) of a procedure on or several input channels AI ELEMENT K to the time TA after first occurring a defined signal status (z. B. Pulse, flank change) to the time of width unit on at least one of the input channels ka< i> ELEMENT approx.

The input channels ka< i> become also as trigger or release channels designated.

One receives finite series of measurements of the shape to the corresponding type of the release of the measuring procedure
EMI8.2
with
ta@t1 for start (measuring) of the procedure and/or.
ta@ for stop (measuring) of the procedure.

Regarding the time course of triggering the times TA become - time of the release start/stop (measuring) of a procedure and
width unit - Time of first occurring a defined signal status on at least one of the release channels discriminated.

It applies: ta= rope v+te with rope v ELEMENT R

rope v=ta-te and rope v - delay time of triggering

Definition a2

1. Pre triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: TA< width unit; (rope v< 0), D. h. the release start/stop of a measuring procedure to the time TA made temporal before occurring a defined signal status to the time of width unit on a release channel out approx.
2. post office triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: TA> width unit; (rope v> 0), D. h. the release start/stop of a measuring procedure to the time TA made temporal after occurring a defined signal status to the time of width unit on a release channel out approx.
3. (com) triggering: = a triggering after definition 1, whereby applies: ta=te; (rope v=0), D. h., occurring a defined signal status on a release channel from Ka releases the start/stop of a measuring procedure without time delay.

It is ELEMENT Ka a release channel and an aluminium (t) the trigger signal resting against the channel, which becomes monitored on occurring a defined signal status (pulse, flank change). If the course of the signal becomes aluminium (t) over longer periods tracked, this with repeated occurrence of defined signal statuses a corresponding indexing of TA and width unit of the form requires one behind the other: width unit< i> - ith time of occurring a defined signal status on the release channel,
TA< i> - ith time of the release start/stop (measuring) of a procedure. (A 1/1)

Prior considerations of the signal aluminium (t), resting against the release channel, presuppose its steadiness. If the signal becomes only in discrete form detected, (for instance in digitized form over the recording of measurement system of a computer) or is present it only to discrete times, then one speaks of discrete triggering.

It the made transition to an equidistant time base of the form: t=r. DELTA t, with r ELEMENT G and company - scanning frequency, become detected with which the values at the release channel,
EMI10.1

Occurring a defined signal status can now only to a discrete time te=s. DELTA t, s ELEMENT G recognized become.

After introduction and definition of the term triggering in recording of measurement systems made the corresponding requirements to systems with alternate operating conditions the construction of process-adapted trigger procedures. This happens first on the base of deterministic trigger signals and becomes in the portions A 3/A 4 on stochastic trigger signals generalized. In the subsequent portions A 5/A 6 bases for process-adapted trigger procedures for the indication of complex signal patterns and structures shown become.

A. 2. Triggering on base of deterministic signals

In the center of the subsequent 3 portions the possibility of the mathematical description of defined signal status (trigger criterion) and the determination of the time of width unit of first occurring the trigger criterion are to stand.

Are T and A two arbitrary amounts from R. sigma T and/or. sigma A are sigma algebras over Borelmengen from T and/or. A. The trigger signal A (t) with A: t> A (t) is (sigma T, sigma A) a measurable function with the definition area T and values in A. The type and structure of the trigger criterion descriptive function h a function of values from AxA is more measurable into an amount H &sube& R and (sigma AxA, sigma H) -, whereby sigma H is a sigma algebra of subsets from H.

top

Definition A3

width unit ELEMENT T is called time of width unit of first occurring the trigger criterion if applies: width unit: =min t: h [A (t), A (t*)] ELEMENT He; He ELEMENT sigma H; t, t* ELEMENT T.

The condition h (A (t), A (t*)) ELEMENT He the defined trigger criterion after that the trigger signal A (t) monitored will, it becomes also as trigger condition designated. He is called trigger quantity.

The trigger criterion is only by several conditions characterizable, defined one width unit through
EMI11.1

is now a function vector of the form = (h1. . . , hQ), Q ELEMENT N and
He=He< 1> x. . . xHe< Q> ELEMENT sigma He< 1> x. . . x He< Q>,
whereby the rear sigma Ax sigma A, - measurable functions of values from AxA in H< i> &sube& H &sube& R are and a system of subsets from rear ones are, which are to become introduced terms and definitions on the basis some examples illustrated.

1. Limit value triggering

It applies: h=I - identical mapping
Q=1, t=t*
H=A, thus is h [A (t), A (t*)]=a (t) and
<D> width unit< g> =min t: A (t) ELEMENT He, t ELEMENT T.

He= (AG -<,> AG +<)> is a continuous open interval from R with AG< -> = - INFINITY or AG< -> ELEMENT R fixed and AG< +> = INFINITY or AG< +> - @ag +, then< one> receives<> the subsequent known trigger criteria to ELEMENT R fixed and AG.
EMI12.2

2. Difference triggering

It applies: Q=1, t*=t sigma, sigma >0, fixed
He= [AG< ->, INFINITY), AG< -> @0.

h is defined by h [A (t), A (t*)]=< September> A (t) - A (t*)< September> and the time of first occurring the trigger criterion by <D> width unit< g> =min t: <September> A (t) - A (t sigma) (September)<> AG< ->, t ELEMENT T.

Defined signal status becomes here characterized by a precipitous change of the signal process, D. h. the time of width unit becomes as time defined, to which itself the signal process A (t) within a defined time interval sigma around more than the value AG< -)<> 0 changes.

Remarks

1. Beside the pure difference or spacer triggering an additional assessment of the tooth alignment can low high and/or. high low to the characterization of defined signal status to be consulted, one speaks then also of trend triggering. The function h becomes then defined without the amount: h (A (t), A (t*)): =a (t) - A (t*) of width unit certain one during difference triggering also
Low High change through,
EMI13.1
and also for High Low changes through
EMI13.2

2. In the case of discrete triggering with equidistant scanning frequency applies:
EMI14.1

One receives the time of the first entry of the trigger criterion (difference triggering) after:

top

3. Monotonic IE triggering
It applies: The trigger criterion is here definable from the mono tonus behavior of the trigger A (t), it applies:
EMI14.4

A.3. Stochastic approaches for triggering of measuring procedures

Prior considerations and definitions for triggering presupposed deterministic trigger signals. Used one for triggering process signals, is this given no longer (see. Chapter. A.2.). At the trigger signal ka the detected signal becomes therefore in the following as stochastic process (Xi) i ELEMENT T construed, whereby T i. A. as amount of times (time base) interpreted becomes.

XT.= (Xi) i ELEMENT T, (T NOTE AGONY 0) is a family of random variables over a common probability area [OMEGA, @, P] with values in a measurable space [E, @].

X (t, omega) can become as mapping of Tx OMEGA in E construed. For fixed t ELEMENT T as function of omega is X (t, omega) (@, @) - measurable X (t, omega) =Xi (omega) for fixed t.

In the following @i &sube& @die sigma is - algebra of the events, which can occur in connection with the process Xi up to the time t. @i is the sigma generated of the sizes (Xs, s@t) - algebra, @t= sigma (Xs, s@t).
(@i) i ELEMENT T is then an ascending family of sigma - bottom algebras of @, the form @s &sube& @i &sube& @, @s, t

ELEMENT T with s@t.

Definition A4:

It is [OMEGA, @, P] a probability area and (@i) a i ELEMENT R< +> an ascending family of sigma - bottom algebras of @B ([0, t]) is sigma - algebra of Borel amounts over [0, t]. A random process (Xi) i ELEMENT R< +> defined on [OMEGA, @, P] with values in [E, B] is called more measurable concerning. the family (@i), if for each t ELEMENT R< +> the mapping (t, omega) -> Xi (omega) from (0, t) x OMEGA in [E, @] more measurable concerning. that sigma - algebra is, those from B ([0, t]) x@i generated becomes.

First the term of the stop time is to become introduced.

Definition A5:

A mapping rope of a nonempty amount OMEGA t &sube& OMEGA with values in T is called stop time concerning (@i) i ELEMENT T or short (@i) - stop time if @t ELEMENT T the relationship rope @t ELEMENT @i applies.

The amount T becomes from now on the corresponding requirements with discrete recording of measurement systems as amount of discrete times viewed with T= t< 1>, t< 2>. . . , t< N>. . . , N ELEMENT N.

Set A1

EMI16.1
a sequence random sizes is over [OMEGA, @, P] with values in [E, B], ti ELEMENT T &sube& R and T= t< 1>, t< 2>. . . , t< N>. . ..

h is a measurable mapping of E1x. . . xEM> R: M ELEMENT N, M< INFINITY and egg &sube& E@i. Then is the mapping width unit (omega): width unit: OMEGA -> T also
EMI16.2
one (@i) - stop time.

Evidence

There h a measurable mapping of E1 min x. . . xEM> R is, applies for h< -1)< S min) ELEMENT sigma E1x. . . xE, @S min ELEMENT @R.

It is to be still shown: omega: width unit (omega) @t ELEMENT @t with @i= sigma (Xs, s@t); @T ELEMENT T.

top
This applies after the subsequent conditions
EMI16.3

In the following now the time is to become width unit of first occurring the trigger criterion on X rope as stop time introduced, whereby the trigger criterion is to become now over stochastic properties and features of the process Xt defined.

For the description of the trigger criterion serves a mapping h of
EMI17.1
with values in a measurable space [H, @], also
EMI17.2

For fixed T1, t2. . . , tN as function from omega is

Definition A6
It is He a subset of H and h a mapping of
EMI17.4
in H. Then designated one the condition
EMI17.5
as trigger criterion (trigger condition). He is called trigger quantity.

Definition A7

The mapping width unit with width unit: OMEGA -> T is called time of first occurring the trigger criterion h ELEMENT He if applies:

Inference A1
It is N=1; [H, @]: = [E, @] and h (t, omega) =X (t, omega) a random process. @i an ascending family of sigma is - bottom algebras of @.

Then is the mapping width unit: =inf (t: Xi (omega) ELEMENT He, t ELEMENT T) one (@i) - stop time.

Evidence

Identical mapping follows &squf& from set A1 with M=1 and h=I

It is
EMI18.1
a sequence temporal successive if necessary dependent random variables defined on [OMEGA, @, P] with values in [E, @]. It applies for E Xt= mu < INFINITY.

The trigger criterion becomes in the following over properties of sample functions of the sequence
EMI18.2
introduced. The estimate of the trigger time of width unit made over the slidable estimate of sample functions.

a) Determination of width unit over the slidable average value estimation

Inference a2

It is h< 1> a mapping of
EMI18.3
whereby applies
EMI18.4
one (@i) - stop time.

Evidence

top
Follows A1 and measurability characteristics from set also
EMI19.1
that is, as linear combination measurable sizes Xt (omega) h is again more measurable.

b) Determination of width unit over slidable moment function estimation

Inference A3

It is <m> h< K> a mapping of
EMI19.2
whereby applies
EMI19.3
one (@t) - stop time.

Evidence

<m> h< K> a measurable function is, the statement follows thus from set A1 &squf& after measurability characteristics

Remark

For K=2 the slidable estimate of the 2 corresponds. Moment function of an estimate of the effective value to the square of the sequence
EMI19.4

c) Determination of width unit over slidable centered moment function estimation

Inference A4

It is <Z> h< K> a mapping of
EMI20.1
whereby applies
EMI20.2
one (@i) - stop time.

Evidence

Analogous evidence inference A3 &squf&

Remarks

1. For K=2 the slidable estimate of the 2 corresponds. centered moment function of the estimate of the scattering of the sequence
EMI20.3

2. Mu if unknown is, becomes mu by the estimate
EMI20.4
in accordance with inference a2 replaced.

The major drawback of stochastic approaches to the definition of trigger times on base of sample functions is in the inertia of the indication of the trigger criterion as well as in the small possibilities of the adaptability because of particular signal structures of the release channel. The implementation of this triggering by means of computer-aided recording of measurement systems requires an high storage requirement, as well as extreme high processing speeds. The overcoming of these disadvantages is bottom use of methods of the stochastic approximation possible to the construction of recursive trigger procedures.
Are from large practical interest methods, which are realizable by means of computer-aided recording of measurement systems in real time and with small memory requirements.

top

A.4. Triggering on base of methods of the stochastic approximation

The determination of the trigger time made also here over the estimate of characteristics of sample functions. To the estimate the made construction of recursive methods of the shape:
EMI21.1
whereby W represents a measurable function, defined on RxE with values in R. To the sequence gamma t applies:
EMI21.2

The convergence of these methods can become by means of methods of the stochastic approximation detected. The theory of the stochastic approximation supplies both the possibility a variety of such recursive estimators to design, and to principles with for an adaptive design of these procedures.

Bottom Adaptivität becomes thereby a matching of the estimate algorithms at changed structure conditions (Instationaritäten) of the processes understood, whereby if necessary a renouncement of convergence in the classic sense made. This approach becomes detailed described in the portion B.

On the base of the general approaches to the stochastic approximation the made construction of recursive processes of estimation for characteristics of sample functions. In the following results of portion B become the definition and determination of the trigger time width unit used. The methods are characterised by an high process adaptability.

Of great importance one is thereby the choice of the sequence gamma n, over which the speed of the matching (adaptation) of characteristics at signal structures and patterns can become controlled. On impact and definition options of the sequence gamma n detailed treated becomes in the portion B.2.

a) Estimate of width unit over the recursive estimate of moment functions

Inference A5

It is <m> h< K> a mapping of
EMI22.1
whereby <m> h< K> in accordance with recursive
EMI22.2
calculated becomes, one (@i) - stop time.

Evidence

h is met as function measurable sizes again measurable and thus the conditions of the set 1 &squf&

Remarks

1. For K=1 the made estimate of the average value function of the sequence Xt.

top

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 40 39 648 A 1**

(51) Int. Cl.^{5}:
A 61 B 5/00
A 61 B 5/02
A 61 B 5/04
A 61 B 5/103
A 61 F 2/48
G 06 F 15/42
G 06 F 15/36
G 08 B 21/00
G 01 D 5/12
G 01 D 1/18
G 01 D 1/14
G 01 D 1/02

(21) Aktenzeichen: P 40 39 648.7
(22) Anmeldetag: 12. 12. 90
(43) Offenlegungstag: 16. 7. 92

DE 40 39 648 A 1

(71) Anmelder:

Wendler, Rolf, O-6800 Saalfeld, DE; Grießbach, Gert, Dr., O-5300 Weimar, DE; Grießbach, Jürgen, 8000 München, DE; Witte, Herbert, Dr., O-6900 Jena, DE; Schwind, Gerald, 8520 Erlangen, DE

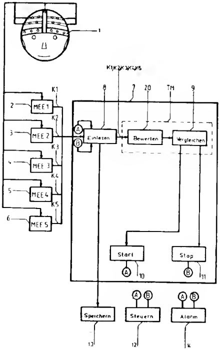
(72) Erfinder:

gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Meßwertverarbeitungssystem für ein biologisches Objekt

(57) Meßwertverarbeitungseinrichtungen, die über mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtungen mit einem biologischen Objekt verbunden sind, werden große Datenmengen an Meßwerten eingegeben.
Die aufgenommenen Meßwerte werden mittels einer Bewertungseinrichtung (20) mathematisch bewertet und mit vorgegebenen Meßwertstrukturen mittels einer Vergleichseinrichtung (9) verglichen. In Echtzeit ist es möglich, eine Speichereinrichtung (13), eine Steuereinrichtung (12) oder eine Alarmeinrichtung (14) zu triggern.
Das Meßwertverarbeitungssystem ist in der Medizintechnik (Human- und Tiermedizin) anwendbar.



DE 40 39 648 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Meßwertverarbeitungseinrichtung der im Oberbegriff des Patentspruchs 1 genannten Art.

Solche Meßwertverarbeitungseinrichtungen, die über mehrkanalige, z. B. als Sensoren ausgebildete Meßwerterfassungseinrichtungen mit einem biologischen Objekt verbunden sind, sind allgemein bekannt. Von den Meßwerterfassungseinrichtungen aufgenommene Meßwerte werden mit vorgegebenen Werten verglichen. Bei Übereinstimmung werden die aufgenommenen Werte gespeichert, eine Alarmeinrichtung betätigt oder eine Steuerung des Meßobjektes vorgenommen. Aufgrund hoher Abtastraten moderner Meßwerterfassungseinrichtungen und hoher Meßkanalzahl ergibt sich eine große Datenmenge, die nur schwierig weiterzuverarbeiten ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine einfach aufgebaute Meßwertverarbeitungseinrichtung zu schaffen, die bei sicherer Funktionsweise eine mehrkanalige Meßwerterfassung und -verarbeitung in Echtzeit bewältigt.

Erfindungsgemäß werden die aufgenommenen Meßwerte mit vorgegebenen Meßwertstrukturen verglichen. Zur Datenreduktion werden die aufgenommenen Meßwerte mathematisch bewertet. Dadurch ergeben sich besonders kurze Meßwertverarbeitungszeiten.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 ein Triggermodul in einer ersten Ausführungsform,

Fig. 3 ein Triggermodul in einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 4 ein Triggermodul in einer dritten Ausführungsform,

Fig. 5 eine Meßwertverarbeitungseinrichtung in einer zweiten Ausführungsform,

Fig. 6 eine Meßwertverarbeitungseinrichtung in einer dritten Ausführungsform,

Fig. A1 ein Meßwerterfassungssystem mit Input- und Output-Beziehungen,

Fig. A5 die Funktionsweise eines Triggermoduls,

Fig. A6 den schematischen Aufbau der Struktur und Mustererkennung mittels komplexer Triggerung.

Wie in **Fig.** 1 gezeigt, ist ein biologisches Objekt über mehrere Meßkanäle k1 bis k5 von Meßwerterfassungseinrichtungen **2, 3, 4, 5, 6** mit einer Meßwertverarbeitungseinrichtung **7** verbunden. Die Meßwertverarbeitungseinrichtung **7** umfaßt eine Einleseeinrichtung **8** zum Einlesen von Meßwerten eines oder mehrerer Kanäle **k1**; **k2**; **k3**; **k4**; **k5** der Meßwerterfassungseinrichtungen **2, 3, 4, 5, 6**. Die Meßwerte des mindestens einen Kanals **k1**; **k2**; **k3**; **k4**; **k5** werden einer Bewertungseinrichtung **20** zugeführt, die zur Berechnung von Werten von Kenngrößen aus Meßwertfolgen ausgebildet ist.

Durch die Kenngrößenberechnung der Bewertungseinrichtung **20** erfolgt eine erhebliche Datenreduktion. Die berechneten Kenngrößen werden einer Vergleichseinrichtung **9** zugeführt, die die Kenngrößen der Meßwerte mit vorgegebenen Meßwertstrukturen vergleicht. Bewertungseinrichtung **20** und Vergleichseinrichtung **9** bilden zusammen ein sogenanntes Triggermodul, das nachstehend noch näher erläutert werden wird.

Bei Übereinstimmung der Kenngrößen der Meßwerte mit den vorgegebenen Meßwertstrukturen wird eine Starteinrichtung **10** aktiviert, die eine Zusatzeinrichtung **12, 13, 14** startet. Die Zusatzeinrichtung kann als Steuereinrichtung **12** ausgebildet sein, die zum Steuern des biologischen Objektes **1** vorgesehen ist. Die Zusatzeinrichtung kann aber auch als Speichereinrichtung **13** ausgebildet sein, um die eingelesenen Meßwerte ab dem Aktivieren der Starteinrichtung **10** zu speichern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß die Zusatzeinrichtung als Warneinrichtung **14** ausgebildet ist zum Anzeigen eines unerwünschten Funktionszustandes des biologischen Objektes **1**. Selbstverständlich können die erläuterten Zusatzeinrichtungen **12, 13, 14** einzeln oder in Kombination mit der Meßwertverarbeitungseinrichtung **7** verbunden sein. Die Stopeinrichtung **11** wird aktiviert, wenn Übereinstimmung mit einer zweiten vorgegebenen Meßwertstruktur vorliegt. Die Stopeinrichtung **11** ist analog zur Starteinrichtung **10** mit den Zusatzeinrichtungen **12, 13, 14** verbunden.

Die **Fig.** 2 bis 4 zeigen den möglichen Aufbau von Triggermodulen TM. Das Triggermodul TM in **Fig.** 2 weist zwei parallel angeordnete Bewertungseinrichtungen **20** auf, denen unterschiedliche Meßkanäle **k1**; **k2**; **k3**; **k4**; **k5** zugeordnet sind. Die ermittelten Kenngrößen beider Bewertungseinrichtungen **20** werden der Vergleichseinrichtung **9** zugeführt, die bei Übereinstimmung mit vorgegebenen Meßwertstrukturen die Starteinrichtung **10** bzw. die Stopeinrichtung **11** aktivieren.

Das Triggermodul TM in **Fig.** 3 zeigt zwei Bewertungseinrichtungen **20**, die in Reihe geschaltet sind und denen unterschiedliche Meßkanäle **k1**; **k2**; **k3**, **k4**; **k5** zugeordnet sind. Die in Reihe geschalteten Bewertungseinrichtungen **20** sind, wie bereits vorstehend erläutert, mit der Vergleichseinrichtung **9** verbunden.

Das Triggermodul in **Fig.** 4 zeigt eine Kombination der Triggermodule der **Fig.** 2 und 3. Zwei Bewertungseinrichtungen **20** sind jeweils in Reihe und weitere zwei Bewertungseinrichtungen **20** dazu parallel geschaltet, wobei den jeweiligen Bewertungseinrichtungen **20** unterschiedliche Meßkanäle **k1**; **k2**; **k3**; **k4**; **k5** zugeordnet sind.

Wie nachstehend noch eingehender erläutert werden wird, kann die vorbestimmte Meßwertstruktur ein einfaches Muster von Daten, z. B. eine Zahlenfolge sein, kann aber einen wesentlich komplizierteren Aufbau haben.

Die Bewertungseinrichtung **20** ist so aufgebaut, daß Kenngrößen, wie z. B. Spitzenwerte von Meßwertfolgen, Mittelwerte von Meßwertfolgen, Effektivwerte von Meßwertfolgen, Quantilwerte von Meßwertfolgen ermittelt werden.

Die Bewertungseinrichtung **20** kann auch zur Bildung von gleitenden Mittelwertschätzungen, gleitenden Momentenfunktionsschätzung der Meßwertfolge, zur Bildung von gleitenden Momentenfunktionsschätzungen,

von rekursiven Schätzungen der Momentenfunktion, von rekursiven Schätzungen der zentrierten Momentenfunktion der Meßwertfolge, zur Bildung von rekursiven Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion, von rekursiven Schätzungen von Funktionen akkumulierter Differenzen der Meßwertfolge, von rekursiven Schätzungen der Quantilwertintervallgrenzen der Meßwertfolge, von rekursiven Schätzungen des Mittelwertes in Form der Quantilintervallmitte der Meßwertfolge, von adaptiven Mittelwerten des absoluten Betrages der Meßwertfolge, zur Bildung von adaptiv gebildeten Mittelwerten einer korrigierten Meßwertfolge, zur Bildung rekursiver Kreuzkorrelationsfunktionen und zur Bildung rekursiver Schätzungen von Funktionen akkumulierter Kreuzdifferenzen der Meßwertfolgen zur Ermittlung der Kenngrößen ausgebildet sein.

Die in einer Mehrzahl vorhandenen Bewertungseinrichtungen **20**, wie, z. B. in den **Fig.** 2 bis 4 gezeigt, können dabei zur Ermittlung unterschiedlicher Kenngrößen ausgebildet sein.

In **Fig.** 5 ist eine weitere Ausführungsform gezeigt, in der zwischen Vergleichseinrichtung **9** und Starteinrichtung **10** und zwischen Vergleichseinrichtung **9** und Stopeinrichtung **11** eine Zeitbeeinflussungseinrichtung **30** geschaltet ist. Die Zeitbeeinflussungseinrichtung **30** ist dabei so ausgebildet, daß die Aktivierung der Starteinrichtung **10** und/oder der Stopeinrichtung **11** zeitlich nach Übereinstimmung mit den vorbestimmten Meßwertstrukturen oder zeitlich vor Übereinstimmung mit den vorbestimmten Meßwertstrukturen erfolgt. Selbstverständlich kann auch eine der Einrichtungen **10; 11** zeitlich nach Übereinstimmung und die andere der Einrichtungen **11; 10** vor Übereinstimmung der vorbestimmten Meßwertstrukturen aktiviert werden.

In nicht dargestellten Ausführungsformen ist die Zeitbeeinflussungseinrichtung **30** zwischen zwei Bewertungseinrichtungen **20**, zwischen zwei Vergleichseinrichtungen **9** und/oder zwischen Bewertungseinrichtung **20** und Vergleichseinrichtung **9** geschaltet.

Wie **Fig.** 6 zeigt, ist eine Einstelleinrichtung **40** zur Einstellung der Abtastfrequenz zwischen die Meßwerterfassungseinrichtungen **2, 3, 4, 5, 6** und die Einleseeinrichtung **8** geschaltet. Die Einstelleinrichtung **40** kann dabei so ausgebildet sein, daß die Abtastfrequenz mittels erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolgen oder mittels rekursiv erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolgen ermittelt wird.

Nachstehend erfolgt die Darstellung mathematischer Grundlagen für den Erfindungsgegenstand, sowie die Erläuterung des Erfindungsgegenstandes an Hand konkreter Ausführungsbeispiele.

A. Theorie der verallgemeinerten Triggerung

In den nachfolgenden Abschnitten sollen Begriffe wie Trigger, Triggerung, Triggerkriterium, adaptive Triggerung, komplexe Triggerung, Strukturerkennung mittels Triggerung u. a. mathematisch beschrieben und gegenüber bekannten technisch realisierten Triggerverfahren verallgemeinert werden.

Die Verallgemeinerung des Begriffes Triggerung erfolgt hinsichtlich:

- Art und Struktur des auslösenden Signalzustandes,
- der Prozeßanpaßbarkeit mittels Verfahren der stochastischen Approximation (adaptive Triggerung),
- der Komplexität der Triggerverbindungen,
- des zeitlichen Regimes der Triggerung.

A. 1. Triggerung in Meßwerterfassungssystemen

Unter Triggerung wird allgemein der Start oder Storn eines Vorganges durch ein Signal a(t) (Impuls, Flankenwechsel o. a.) verstanden. Das Signal a(t) wird auch als Triggersignal oder kurz Trigger bezeichnet, es liegt an einem Triggerkanal k_a an. Für Meßwerterfassungssysteme ist diese Definition in bezug auf den zu startenden oder stoppenden (Meß-)Vorgang sowie das Triggersignal a(t) näher zu spezifizieren.

Aus einer technischen Problemstellung heraus soll ein Meßvorgang gestartet oder gestoppt werden, wenn sich auf dem Triggerkanal eine aus Voruntersuchungen bestimmbare Signalstruktur einstellt. Dazu wird das Signal a(t) am Triggerkanal überwacht und bei digitalem Meßwerterfassungssystem mittels mathematischer Verfahren bewertet. Aus den Anforderungen der technischen Problemstellung heraus erfolgt die Definition des Signalzustandes (definierter Signalzustand oder Triggerkriterium), nach der das Triggersignal a(t) überwacht wird und nach dessen Eintreten die Triggerung ausgelöst wird.

Es sei S ein Meßwerterfassungssystem siehe auch **Fig.** A1.

$K = \{k^i\}_{i=1}^{L}$ sei die Menge der Eingangskanäle des Systems S und K_i:$i \in \{1, \ldots, L\}$, sei der i-te Eingangskanal des Systems S,

L — max. Kanalanzahl

Das am Kanal k^i, $i \leq L$, $i \in \mathbf{N}$ anliegende Signal wird mit $x^i(t)$ bezeichnet und

$$x^i_{t_1}, \ldots, x^i_{t_{N_i}}$$

sei die am Kanal k^i zu den Zeitpunkten $t_1, \ldots, t_{N_i}$ erfaßte Meßreihe bestehend aus $N_i < \infty$, $N_i \in \mathbf{N}$ Meßwerten. Weiterhin sei $K_a \subset K$ eine Teilmenge der Eingangskanäle (K_a — Menge der Triggerkanäle) mit $K_a = \{k_a^1, \ldots k_a^R\}$ mit $R \leq L$, $R \in \mathbf{N}$.

Definition A1

Triggerung ist der Start/Stop eines (Meß-)Vorganges auf einem oder mehreren Eingangskanälen $k_i \in K$ zum Zeitpunkt t_a nach dem ersten Eintreten eines definierten Signalzustandes (z. B. Impuls, Flankenwechsel) zum

Zeitpunkt t_e auf mindestens einem der Eingangskanäle $k_a^i \in K_a$.

Die Eingangskanäle k_a^i werden auch als Trigger- oder Auslösekanäle bezeichnet.

Entsprechend der Art der Auslösung des Meßvorganges erhält man endliche Meßreihen der Gestalt

$$X_i = (x^i_{t_1}, \ldots, x^i_{t_{N_i}}) \quad \text{mit } k^i \in K$$
$$0 < N_i < \infty, \ \forall\, i, \ 1 \leq i \leq L$$

mit

$t_a \triangleq t_1$ für Start des (Meß-)Vorganges bzw.

$t_a \triangleq t_{N_i}$ für Stop des (Meß-)Vorganges.

In bezug auf den zeitlichen Verlauf der Triggerung werden die Zeitpunkte

t_a — Zeitpunkt der Auslösung des Start/Stop eines (Meß-)Vorganges und

t_e — Zeitpunkt des ersten Eintretens eines definierten Signalzustandes auf mindestens einem der Auslösekanäle

unterschieden.

Es gilt:

$t_a = \tau_v + t_e$ mit $\tau_v \in \mathbf{R}$

$\tau_v = t_a - t_e$ und τ_v — Verzögerungszeit der Triggerung

Definition A2

1. pre-Triggerung: = eine Triggerung nach Definition 1, wobei gilt: $t_a < t_e$; ($\tau_v < 0$), d. h. die Auslösung des Start/Stop eines Meßvorganges zum Zeitpunkt t_a erfolgt zeitlich vor dem Eintreten eines definierten Signalzustandes zum Zeitpunkt t_e auf einem Auslösekanal aus K_a.

2. post-Triggerung: = eine Triggerung nach Definition 1, wobei gilt: $t_a > t_e$; ($\tau_v > 0$), d. h. die Auslösung des Start/Stop eines Meßvorganges zum Zeitpunkt t_a erfolgt zeitlich nach dem Eintreten eines definierten Signalzustandes zum Zeitpunkt t_e auf einem Auslösekanal aus K_a.

3. (com-)Triggerung: = eine Triggerung nach Definition 1, wobei gilt: $t_a = t_e$; ($\tau_v = 0$), d. h., das Eintreten eines definierten Signalzustandes auf einem Auslösekanal aus K_a löst den Start/Stop eines Meßvorganges ohne Zeitverzögerung aus.

Es sei $k_{a_l} \in K_a$ ein Auslösekanal und $a_l(t)$ das am Kanal k_{a_l} anliegende Triggersignal, welches auf das Eintreten eines definierten Signalzustandes (Impuls, Flankenwechsel) überwacht wird. Wird der Verlauf des Signales $a_l(t)$ über längere Zeiträume verfolgt, erfordert dies bei mehrmaligen hintereinander Auftreten definierter Signalzustände eine entsprechende Indizierung von t_a und t_e der Form:

t_e^i — i-ter Zeitpunkt des Eintretens eines definierten Signalzustandes auf dem Auslösekanal k_{a_l},

t_a^i — i-ter Zeitpunkt der Auslösung des Start/Stop eines (Meß-)Vorganges. (A 1/1)

Bisherige Betrachtungen des am Auslösekanal k_{a_l} anliegenden Signales $a_l(t)$ setzen dessen Stetigkeit voraus. Wird das Signal nur in diskreter Form erfaßt, (etwa in digitalisierter Form über das Meßwerterfassungssystem eines Computers) oder liegt es selbst nur zu diskreten Zeitpunkten vor, so spricht man von diskreter Triggerung.

Es erfolgt der Übergang zu einer äquidistanten Zeitbasis der Form:

$t = r \cdot \Delta t$, mit $r \in \mathbf{G}$ und f_A — Abtastfrequenz,

mit der die Werte am Auslösekanal erfaßt werden,

$$\Delta t = \frac{1}{f_A}$$

Das Eintreten eines definierten Signalzustandes kann jetzt nur zu einem diskreten Zeitpunkt

$t_e = s \cdot \Delta t, s \in \mathbf{G}$

erkannt werden.

Nach Einführung und Definition des Begriffs Triggerung in Meßwerterfassungssystemen erfolgt entsprechend den Forderungen an Systeme mit wechselnden Betriebsbedingungen die Konstruktion prozeßangepaßter Triggerverfahren. Dies geschieht zunächst auf der Basis deterministischer Triggersignale und wird in den Abschnitten A 3/A 4 auf stochastische Triggersignale verallgemeinert. In den sich anschließenden Abschnitten A 5/A 6 werden Grundlagen für prozeßangepaßte Triggerverfahren zur Indikation komplexer Signalmuster und Strukturen dargestellt.

A. 2. Triggerung auf Basis deterministischer Signale

Im Mittelpunkt der folgenden 3 Abschnitte soll die Möglichkeit der mathematischen Beschreibung des definierten Signalzustandes (Triggerkriteriums) und die Bestimmung des Zeitpunktes t_e des ersten Eintretens des Triggerkriteriums stehen.

Es seien T und A zwei beliebige Mengen aus **R**. σ_T bzw. σ_A seien Sigmaalgebren über Borelmengen aus T bzw. A. Das Triggersignal a(t) mit a: $t \rightarrow a(t)$ sei eine (σ_T, σ_A) meßbare Funktion mit dem Definitionsgebiet T und Werten in A. Die Art und Struktur des Triggerkriteriums beschreibende Funktion h sei eine Funktion von Werten aus $A \times A$ in eine Menge $H \subseteq \mathbf{R}$ und $(\sigma_{A \times A}, \sigma_H)$— meßbar, wobei σ_H eine Sigmaalgebra von Untermengen aus H ist.

Definition A3

$t_e \in T$ heißt Zeitpunkt t_e des ersten Eintretens des Triggerkriteriums falls gilt:

$t_e := \min\{t: h[a(t), a(t^*)] \in H_e; H_e \in \sigma_H; t, t^* \in T\}$.

Die Bedingung $h(a(t), a(t^*)) \in H_e$ definiert das Triggerkriterium nach dem das Triggersignal a(t) überwacht wird, sie wird auch als Triggerbedingung bezeichnet. H_e heißt Triggermenge.

Ist das Triggerkriterium nur durch mehrere Bedingungen charakterisierbar, definiert man t_e durch

$t_e := \min\{t: \vec{h}[a(t), a(t^*)] \in H_e; H_e \in \sigma_H; t, t^* \in T\}$.

$\vec{h}$ sei jetzt ein Funktionenvektor der Form

$\vec{h} = (h_1, \ldots, h_Q), Q \in \mathbf{N}$ und
$H_e = H_e^1 \times \ldots \times H_e^Q \in \sigma H_e^1 \times, \ldots \times H_e^Q$,
wobei die $h_i \{\sigma_A \times \sigma_A, \sigma_{H_i}\}$ — meßbare Funktionen von Werten aus $A \times A$ in $H^i \subseteq H \subseteq \mathbf{R}$ sind und σ_{H_i} ein System von Teilmengen von H_i ist,

mit $1 \leq i \leq Q$. Die Bedingung $\vec{h}(a(t), a(t^*)) \in H_e$

hat dann die Vektorgestalt:

$$\begin{aligned} &h_1(a(t), a(t^*)) \in H_e^1, \\ &\vdots \\ &h_Q(a(t), a(t^*)) \in H_e^Q. \end{aligned}$$

Die eingeführten Begriffe und Definitionen sollen an Hand einiger Beispiele illustriert werden.

1. Grenzwerttriggerung

Es gelte:

$h = I$ — identische Abbildung
$Q = 1, t = t^*$
$H = A$,

damit ist

$h[a(t), a(t^*)] = a(t)$ und
${}^d t_e^g = \min\{t: a(t) \in H_e, t \in T\}$.

Ist $H_e = (a_g^-, a_g^+)$ ein zusammenhängendes offenes Intervall aus **R** mit $a_g^- = -\infty$ oder $a_g^- \in \mathbf{R}$ fest und $a_g^+ = \infty$ oder $a_g^+ \in \mathbf{R}$ fest und $a_g^- \leq a_g^+$, so erhält man die folgenden bekannten Triggerkriterien.

Triggerkriterium definiert dadurch, daß das Triggersignal	Triggerbedingung
a) a(t) einen Wert a_g^- überschreitet	$a(t) \in (a_g^-, \infty)$
b) a(t) einen Wert a_g^+ unterschreitet	$a(t) \in (-\infty, a_g^+)$
c) a(t) ein vorgegebenes Intervall (a_g^-, a_g^+) verläßt	$a(t) \in \mathbf{R}/(a_g^-, a_g^+)$
d) a(t) in ein vorgegebenes Intervall eintritt	$a(t) \in (a_g^-, a_g^+)$

Bemerkung:
Die Triggerbedingungen sind auch über abgeschlossene Mengen $H_e = [a_g^-, a_g^+]$; $|a_g^-| \neq \infty$, $|a_g^+| \neq \infty$ definierbar.

2. Differenzentriggerung

Es gelte:

$Q = 1, t^* = t - \sigma, \sigma > 0$, fest
$H_e = [a_g^-, \infty), a_g^- \geq 0.$

h sei definiert durch

$h[a(t), a(t^*)] = |a(t) - a(t^*)|$

und der Zeitpunkt des ersten Eintretens des Triggerkriteriums durch

$^d t_e^g = \min\{t: |a(t) - a(t-\sigma)| > a_g^-, t \in T\}.$

Der definierte Signalzustand wird hier durch eine sprunghafte Änderung des Signalverlaufes charakterisiert, d. h. der Zeitpunkt t_e wird als Zeitpunkt definiert, zu dem sich der Signalverlauf a(t) innerhalb eines definierten Zeitintervalls σ um mehr als den Wert $a_g^- > 0$ ändert.

Bemerkungen

1. Neben der reinen Differenzen- oder Abstandstriggerung kann zusätzlich eine Bewertung der Flankenrichtung low-high bzw. high-low zur Charakterisierung des definierten Signalzustandes hinzugezogen werden, man spricht dann auch von Trendtriggerung. Die Funktion h wird dann ohne den Betrag definiert:

$h(a(t), a(t^*)) := a(t) - a(t^*)$

t_e bestimmt man bei Differenzentriggerung mit
Low-High-Wechsel durch,

$$^d t_e^l = \min_{t \in T} \{t : h(a(t), \; a(t^*)) \in H_e, \; H_e = [a_g^-, \infty), \; a_g^- > 0 \text{ fest}\}$$

und mit für High-Low-Wechsel durch

$$^d t_e^{l} = \min_{t \in T} \{t : h(a(t), \; a(t^*)) \in H_e, \; H_e = [-\infty, a_g^+), \; a_g^+ < 0 \text{ fest}\}.$$

2. Bei diskreter Triggerung mit äquidistanter Abtastfrequenz gilt:

$$|t_{i+1} - t_i| = \Delta t \qquad \forall i$$

$$\delta = d \cdot \Delta t \qquad \text{mit } \frac{1}{\Delta t} = f_A - \text{Abtastfrequenz}$$

$$\text{und } \; d \in \mathbf{N}.$$

Den Zeitpunkt des ersten Eintritts des Triggerkriteriums (Differenztriggerung) erhält man nach:

$$^d t_e^d = \min_{t \in T} \{t : h(a(t), \; a(t^*)) = |a(m \cdot \Delta t) - a([m-d] \cdot \Delta t)| > a_g^-\}; \quad T = \{t : t = \Delta t \cdot m, \; m \in \mathbf{N}\}.$$

3. Monotonie-Triggerung

Es gelte:

$Q = 2,\ t_1$	$= t - \delta, \delta > 0, \delta$ – fest
t_2	$= t + \delta$ und
h mit h	$= (h_1, h_2)$ sei definiert durch
$h_1(a(t), a(t_1))$	$= a(t) - a(t - \delta)$,
$h_2(a(t), a(t_2))$	$= a(t) - a(t + \delta)$,
${}^d t_e^m$	$= \min_{t_2 \in T} \{t_2 : h_1(a(t), a(t_1)) \in H_e^1, h_2(a(t), a(t_2)) \in H_e^2\}$.

Das Triggerkriterium ist hier aus dem Monotonieverhalten des Triggers a(t) definierbar, es gilt:

Triggerkriterium definiert dadurch, daß das Triggersignal ein	Triggermenge H_e^1	H_e^2
Lokales Maximum annimmt	(a_g^-, ∞)	$(0, \infty)$
Lokales Minimum annimmt	$(-\infty, 0)$	$(-\infty, 0)$
(streng)|monoton wachsend ist	$(0, \infty)\|[0, \infty)$	$(-\infty, 0)\|(-\infty, 0]$
(streng)|monoton fallend ist	$(-\infty, 0)\|(-\infty, 0]$	$(0, \infty)\|[0, \infty)$

A.3. Stochastische Ansätze zur Triggerung von Meßvorgängen

Bisherige Betrachtungen und Definitionen zur Triggerung setzten deterministische Triggersignale voraus. Verwendet man zur Triggerung Prozeßsignale, ist dies nicht mehr gegeben (vergl. Kap. A.2.). Das am Auslösesignal k_a erfaßte Signal wird deshalb im folgenden als stochastischer Prozeß $(X_i)_{i \in T}$ aufgefaßt, wobei T i. a. als Menge von Zeitpunkten (Zeitbasis) interpretiert wird.

$X_T = (X_i)_{i \in T}$, $(T \neq 0)$ sei eine Familie von zufälligen Variablen über einen gemeinsamen Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$ mit Werten in einem meßbaren Raum $[E, \mathfrak{B}]$.

$X(t, \omega)$ kann als Abbildung von $T \times \Omega$ in E aufgefaßt werden. Für festes $t \in T$ als Funktion von ω ist $X(t, \omega)$ $(\mathfrak{A}, \mathfrak{B})$-meßbar $X(t, \omega) = X_i(\omega)$ für festes t.

Im folgenden sei $\mathfrak{F}_t \subseteq \mathfrak{A}$ die σ-Algebra der Ereignisse, die im Zusammenhang mit dem Prozeß X_t bis zum Zeitpunkt t eintreten können. $\mathfrak{F}_t$ sei die von den Größen $(X_s, s \leq t)$ erzeugte σ-Algebra, $\mathfrak{F}_t = \sigma(X_s, s \leq t)$.

$(\mathfrak{F}_t)_{t \in T}$ ist dann eine aufsteigende Familie von σ-Unteralgebren von $\mathfrak{A}$, der Form $\mathfrak{F}_s \subseteq \mathfrak{F}_t \subseteq \mathfrak{A}$, $\forall s, t \in T$ mit $s \leq t$.

Definition A4:

Es sei $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$ ein Wahrscheinlichkeitsraum und $(\mathfrak{F}_t)_{t \in \mathbf{R}^+}$ eine aufsteigende Familie von σ-Unteralgebren von $\mathbf{B}([0, t])$ sei eine σ-Algebra von Borel-Mengen über [0, t]. Ein zufälliger Prozeß $(X_t)_{t \in \mathbf{R}^+}$ definiert auf $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$ mit Werten in [E, B] heißt meßbar bzgl. der Familie $(\mathfrak{F}_t)$, falls für jedes $t \in \mathbf{R}^+$ die Abbildung $(t, \omega) \rightarrow X_i(\omega)$ aus $(0, t) \times \Omega$ in $[E, \mathfrak{B}]$ meßbar bzgl. der σ-Algebra ist, die von $\mathbf{B}([0, t]) \times \mathfrak{F}_t$ erzeugt wird.

Zunächst soll der Begriff der Stoppzeit eingeführt werden.

Definition A5:

Eine Abbildung τ von einer nichtleeren Menge $\Omega_\tau \subseteq \Omega$ mit Werten in T heißt Stoppzeit bezüglich $(\mathfrak{F}_t)_{t \in T}$ oder kurz $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit falls $\forall t \in T$ die Beziehung $\{\tau \leq t\} \in \mathfrak{F}_t$ gilt.

Die Menge T wird ab jetzt entsprechend den Forderungen bei diskreten Meßwerterfassungssystemen als Menge diskreter Zeitpunkte betrachtet mit $T = \{t^1, t^2, \ldots, t^N, \ldots\}$, $N \in \mathbf{N}$.

Satz A1

$$\{X_{t_i}\}_{i = 1, 2, \ldots}$$

sei eine Folge zufälliger Größen über $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$ mit Werten in $[E, \mathbf{B}]$, $t_i \in T \subseteq \mathbf{R}$ und $T = \{t^1, t^2, \ldots, t^N, \ldots\}$.

h sei eine meßbare Abbildung von $E_1 x \ldots x E_M \rightarrow \mathbf{R} : M \in \mathbf{N}$, $M < \infty$ und $E_i \subseteq E$ i. Dann ist die Abbildung

$t_e(\omega) : t_e : \Omega \rightarrow T$ mit

$$t_e = \min \{t_N : h(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ t_i \in T,\ H_e \in \mathbf{B}_R\}$$

eine $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit.

Beweis

Da h eine meßbare Abbildung von

$E_1 \times \ldots \times E_M \to \mathbf{R}$ ist, gilt

$$h^{-1}(S') \in \sigma_{E_1 \times \ldots \times E_M}, \quad \forall\, S' \in \mathfrak{B}_{\mathbf{R}}.$$

Es ist noch zu zeigen:

$\{\omega : t_e(\omega) \leq t\} \in \mathfrak{F}_t$ mit $\mathfrak{F}_t = \sigma(X_s, s \leq t);\ \forall\, t \in T.$

Dies gilt nach folgenden Bedingungen

$$\{\omega : \min\{t_N : h \cdot (X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ \ t_i \in \mathbf{T},\ \ H_e \in \mathbf{B_R}\} \leq t\}$$

$$= \bigcup_{\substack{t_N < t \\ M \in \mathbf{N}}} \{\omega : h \cdot (X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ t_i \in \mathbf{T}\}$$

$$= \bigcup_{\substack{t_N < t \\ M \in \mathbf{N} \\ t_i \in \mathbf{T}}} \{\omega : (X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in h^{-1}(H_e) \in \sigma_{E_1 \times \ldots \times E_M}\} \in \sigma(X_s,\ s \leq t) = \mathfrak{F}_t \ \blacksquare$$

Im folgenden soll nun der Zeitpunkt t_e des ersten Eintretens des Triggerkriteriums auf X_τ als Stoppzeit eingeführt werden, wobei das Triggerkriterium jetzt über stochastische Eigenschaften und Merkmale des Prozesses X_τ definiert werden soll.

Zur Beschreibung des Triggerkriteriums dient eine Abbildung h von

$$\prod_{i=1}^{M} E_i$$

mit Werten in einem meßbaren Raum $[H, \mathfrak{X}]$, mit

$$\prod_{i=1}^{M} E_i = E_1 \times \ldots \times E_M, \quad M \in \mathbf{N}.$$

Für feste $t_1, t_2, \ldots, t_N$ als Funktion von ω ist

$$h(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) = h_{t_{N-M+1}, \ldots, t_N}(\omega)\ (\mathfrak{U}, \mathfrak{X}) - \text{meßbar.}$$

Definition A6

Es sei H_e eine Teilmenge von H und h eine Abbildung von

$$\prod_{i=1}^{M} E_i$$

in H. Dann bezeichnet man die Bedingung

$$h(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e$$

als Triggerkriterium (Triggerbedingung). H_e heißt Triggermenge.

Definition A7

Die Abbildung t_e mit $t_e : \Omega \to T$ heißt Zeitpunkt des ersten Eintretens des Triggerkriteriums $\{h \in H_e\}$ falls gilt:

$t_e = \min t_M : h(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e, \; t_i \in T, \; i \in N\}.$

Folgerung A1

Es sei $N = 1$; $[H, \mathfrak{X}] := [E, \mathfrak{B}]$ und $h(t, \omega) = X(t, \omega)$ ein zufälliger Prozeß. $\mathfrak{F}_t$ sei eine aufsteigende Familie von σ-Unteralgebren von $\mathfrak{U}$.

Dann ist die Abbildung

$t_e := \inf(t : X_t(\omega) \in H_e, t \in T)$ eine $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit.

Beweis

Folgt aus Satz A1 mit $M = 1$ und $h = 1$ identische Abbildung ■

Es sei

$$\{X_{t_i}\}_{t_i \in T}, \; i \in N$$

eine Folge zeitlich aufeinanderfolgender gegebenenfalls abhängiger Zufallsgrößen definiert auf $[\Omega, \mathfrak{U}, P]$ mit Werten in $[E, \;]$. Es gelte $E\,X_t = \mu < \infty$.

Das Triggerkriterium wird im folgenden über Eigenschaften von Stichprobenfunktionen der Folge

$$\{X_{t_i}\}_{t_i \in T}$$

eingeführt. Die Schätzung des Triggerzeitpunktes t_e erfolgt über die gleitende Schätzung von Stichprobenfunktionen.

a) Ermittlung von t_e über die gleitende Mittelwertschätzung

Folgerung A2

Es sei h^1 eine Abbildung von

$$\prod_{i=1}^{M} E_i \quad \text{in} \quad H; \quad H_e \subseteq H; \quad E_i = E, \; \forall i; \quad \mathfrak{F}_t = \sigma(X_s, \; s \le t) \quad \text{dann ist} \quad {}^m t_e^1 \quad \text{mit}$$

$${}^m t_e^1 := \min\{t_N : h^1(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, x_{t_N}(\omega)) \in H_e, \; t_i \in T, \; \forall i \in N\},$$

wobei gilt

$$h^1(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) = \frac{1}{M} \sum_{t_i = t_{N-M+1}}^{t_N} X_{t_i}(\omega),$$

eine $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit.

Beweis

Folgt aus Satz A1 und Meßbarkeitseigenschaften mit

$$h(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) = \sum_{t_i = t_{N-M+1}}^{t_N} X_{t_i}(\omega)$$

das heißt, als Linearkombination meßbarer Größen $X_{t_i}(\omega)$ ist h wieder meßbar.

b) Ermittlung von t_e über gleitende Momentenfunktionenschätzung

Folgerung A3

Es sei ${}^m h^K$ eine Abbildung von

$$\prod_{i=1}^{M} E_i \quad \text{in} \quad H;\ H_e \subseteq H;\ E_i = E,\ \forall i;\ \mathfrak{F}_t = \sigma(X_s,\ s \leq t) \quad \text{dann ist } {}^{m}t_e^K \text{ mit}$$

$$ {}^{m}t_e^K := \min\{t_N : {}^{m}h^K(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ t_i \in T,\ \forall i \in N\},$$

wobei gilt

$$ {}^{m}h^K(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) = \frac{1}{M} \sum_{t_i = t_{N-M+1}}^{t_N} X_{t_i}^k(\omega),$$

eine ($\mathfrak{F}_t$)-Stoppzeit.

Beweis

${}^{m}h^K$ ist nach Meßbarkeitseigenschaften eine meßbare Funktion, die Aussage folgt somit aus Satz A1 ■

Bemerkung

Für K = 2 entspricht die gleitende Schätzung der 2. Momentenfunktion einer Schätzung des Effektivwertes zum Quadrat der Folge

$\{X_{t_i}\}_{t_i \in T}$.

c) Ermittlung von t_e über gleitende zentrierte Momentenfunktionenschätzung

Folgerung A4

Es sei ${}^{Z}h^K$ eine Abbildung von

$$\prod_{i=1}^{M} E_i \quad \text{in} \quad H;\ H_e \subseteq H;\ E_i = E,\ \forall i;\ \mathfrak{F}_t = \sigma(X_s,\ s \leq t), \quad \text{dann ist } {}^{Z}t_e^K \text{ mit}$$

$$ {}^{Z}t_e^K := \min\{t_N : {}^{Z}h^K(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ t_i \in T,\ \forall i \in N\},$$

wobei gilt

$$ {}^{Z}h^K(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega)) = \frac{1}{M} \sum_{t_i = t_{N-M+1}}^{t_N} [X_{t_i}(\omega) - \mu]^k,$$

eine ($\mathfrak{F}_t$)-Stoppzeit.

Beweis

Analog Beweis Folgerung A3 ■

Bemerkungen

1. Für K = 2 entspricht die gleitende Schätzung der 2. zentrierten Momentenfunktion der Schätzung der Streuung der Folge

$\{X_{t_i}\}_{t_i \in T}$.

2. Ist μ unbekannt, wird μ durch die Schätzung

$h^1(X_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, X_{t_N}(\omega))$

gemäß Folgerung A2 ersetzt.

Der wesentliche Nachteil stochastischer Ansätze zur Definition von Triggerzeitpunkten auf Basis von Stichprobenfunktionen liegt in der Trägheit der Indikation des Triggerkriteriums sowie in den geringen Möglichkeiten der Anpaßbarkeit an spezielle Signalstrukturen des Auslösekanals. Die Realisierung dieser Triggerung mittels rechnergestützter Meßwerterfassungssysteme erfordert einen hohen Speicherbedarf, sowie extrem hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten. Die Überwindung dieser Nachteile ist unter Nutzung von Verfahren der stochastischen Approximation zur Konstruktion rekursiver Triggerverfahren möglich.
Von großem praktischen Interesse sind Verfahren, die mittels rechnergestützten Meßwerterfassungssystemen in Echtzeit und mit geringem Speicherplatzbedarf realisierbar sind.

A.4. Triggerung auf Basis von Verfahren der stochastischen Approximation

Die Bestimmung des Triggerzeitpunktes erfolgt auch hier über die Schätzung von Kenngrößen von Stichprobenfunktionen. Zur Schätzung erfolgt die Konstruktion rekursiver Verfahren der Gestalt:

$$S_0 = s_0,$$

$$S_{t_{N+1}} = S_{t_N} - \gamma_{t_N} \cdot W[S_{t_N}, X_{t_N}(\omega)],$$

wobei W eine meßbare Funktion, definiert auf $\mathbf{R} \times E$ mit Werten in $\mathbf{R}$, darstellt. Für die Folge γ_{t_N} gilt:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \gamma_{t_n} = \infty \quad \text{und} \quad \sum_{n=1}^{\infty} \gamma_{t_n}^2 < \infty.$$

Die Konvergenz dieser Verfahren kann mittels Methoden der stochastischen Approximation nachgewiesen werden. Dabei liefert die Theorie der stochastischen Approximation sowohl die Möglichkeit eine Vielzahl derartiger rekursiver Schätzfunktionen zu konstruieren, als auch Grundgedanken für eine adaptive Gestaltung dieser Prozeduren.
Unter Adaptivität wird dabei eine Anpassung der Schätzalgorithmen an veränderte Strukturbedingungen (Instationaritäten) der Prozesse verstanden, wobei gegebenenfalls ein Verzicht auf Konvergenz im klassischen Sinne erfolgt. Diese Herangehensweise wird ausführlich im Abschnitt B beschrieben.
Auf der Basis der allgemeinen Ansätze zur stochastischen Approximation erfolgt die Konstruktion rekursiver Schätzverfahren für Kenngrößen von Stichprobenfunktionen. Dabei werden im folgenden Ergebnisse von Abschnitt B zur Definition und Ermittlung des Triggerzeitpunktes t_e verwendet. Die Verfahren zeichnen sich durch eine hohe Prozeßanpaßbarkeit aus.
Von großer Bedeutung ist dabei die Wahl der Folge γ_n, über die die Geschwindigkeit der Anpassung (Adaption) von Kenngrößen an Signalstrukturen und Muster gesteuert werden kann. Auf Wirkungsweise und Definitionsmöglichkeiten der Folge γ_n wird im Abschnitt B.2 ausführlich behandelt.

a) Schätzung von t_e über die rekursive Schätzung von Momentenfunktionen

Folgerung A5

Es sei ${}^m h^K$ eine Abbildung von

$$E_1 \times E_2 \quad \text{in} \quad H,\ H_e \subseteq H,\ E_1 = E,\ E_2 = H; \quad \text{und} \quad \mathfrak{F}_t = \sigma\{X_s,\ s \leq t\}, \quad \text{dann ist } {}^m \tilde{t}_e^K \text{ mit}$$

$${}^m \tilde{t}^K = \min\{t_N : {}^m h^K({}^m h^K_{t_{N-1}}, X_{t_N}) \in H_e,\ \forall t_i \in T\},$$

wobei ${}^m h^K$ rekursiv gemäß

$${}^m h^K_{t_0} = c - \text{constant},$$

$${}^m h^K_{t_N} = {}^m h^K({}^m h^K_{t_{N-1}}, X_{t_N}) = {}^m h^K_t - \gamma_{t_N}({}^m h^K_{t_{N-1}} - X^K_{t_{N-1}})$$

berechnet wird, eine $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit.

Beweis

h ist als Funktion meßbarer Größen wieder meßbar und erfüllt somit die Bedingungen vom Satz 1 ■

Bemerkungen

1. Für $K = 1$ erfolgt die Schätzung der Mittelwertfunktion der Folge $\{X_t\}$.
2. Für $K = 2$ erfolgt die Schätzung des quadratischen Effektivwertes der Folge $\{X_t\}$.

b) Schätzung von t_e auf Basis der Schätzung zentrierter Momentenfunktion

Folgerung A6

Es sei ${}^{z}h^{K}$ eine Abbildung von $H \times E$ in H, $H_e \subseteq H$; und,

$$\mathfrak{F}_t = \sigma\{X_s,\ s \leq t\}, \quad \text{dann ist } {}^{Z}t_e^{K} \text{ mit}$$

$$ {}^{Z}\tilde{t}_e^{K} := \min\{t_N : {}^{Z}h^{K}({}^{m}h_{t_{N-1}}, X_{t_N}(\omega)) \in H_e,\ \forall t_i \in T\},$$

wobei ${}^{z}h^{K}$ rekursiv gemäß

$$ {}^{Z}h_0^{K} = c - \text{constant},$$

$$ {}^{Z}h_{t_N}^{K} = {}^{Z}h_{t_{N-1}}^{K} - \gamma_{t_N}({}^{Z}h_{t_{N-1}}^{K} - (X_{t_N}^{K} - \mu)^{K})$$

berechnet wird, eine $(\mathfrak{F}_t)$-Stoppzeit.

Beweis

Analog Beweis Folgerung A5 ■

Bemerkungen

1. Für $K = 2$ erfolgt die Schätzung der Streuung der Folge $\{X_t\}$.
2. Ist μ unbekannt, wird μ durch die Schätzung

$$ {}^{m}h_{t_N}^{1}$$

gemäß Folgerung A5 ersetzt.

c) Schätzung von t_e auf Basis der Schätzung von Quantilwerten

Sei

$$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots}$$

eine Folge von identisch verteilten Zufallsgrößen mit der Verteilungsfunktion F_X.

Definition A8

Z_α heißt α-Quantil der Verteilung F_X, falls gilt

$F_X(Z_\alpha) \leq \alpha \leq F_X(Z_\alpha + 0)$ mit $0 < \alpha < 1$.

Im Abschnitt B.1 wird ein rekursives Verfahren zur Schätzung der α-Quantile durch

$$Q_0(0) = q \quad \text{Startwert, constant}$$

$$Q_{t_N} = Q_{t_N} + \gamma_{t_N} \cdot \gamma_{t_{N+1}}(Q_{t_N}, X_{t_{N+1}}(\omega)),$$

$$\text{mit} \quad \gamma_{t_N}(x, X_{t_N}(\omega)) = \begin{cases} \alpha - 1 & \text{für } X_{t_N}(\omega) < x \\ \alpha & \text{für } X_{t_N}(\omega) \geq x \end{cases}$$

$$= \alpha - I_{\{X_{t_N}(\omega) < x\}}(\omega),$$

wobei $I_A(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{falls } \omega \in A \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$

für $\{\gamma_{t_N}\}_{N=1,2}$ gelte: $\sum_{n=0}^{\infty} \gamma_{t_N} = \infty, \quad \sum_{n=0}^{\infty} \gamma_{t_N}^2 < \infty$

beschrieben.

Auf der Basis dieses Verfahrens erfolgt die Definition zweier Toleranzbereichsgrenzen für die Zufallsgrößen

$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,}$

die einen prozentualen Anteil $\alpha \cdot 100\%$ dieser Zufallsgrößen einschließen.

Die Toleranzbereichsgrenzen Z_t^+ und Z_t^- werden rekursiv nach $Z_{t_0}^+ = z_0^+$ Startwert, fest, beliebig.

$$Z_{t_{N+1}}^+ = Z_{t_N}^+ + \gamma_{t_N} \cdot [\alpha - I_A(\omega)];$$

$$A = \{\omega : X_{t_N}(\omega) < Z_{t_N}^+\}$$

und

$$Z_{t_0}^- = z_0 \quad \text{Startwert, fest, beliebig.}$$

$$Z_{t_{N+1}}^- = Z_{t_N}^- - \gamma_{t_N} \cdot [\alpha - I_B(\omega)]; \quad B = \{\omega : X_{t_N}(\omega) > Z_{t_N}^-\}$$

bestimmt

Z_i^+ — heißt oberer Schwellwert zum Zeitpunkt t_i;
Z_i^- — heißt unterer Schwellwert zum Zeitpunkt t_i.

Im folgenden werden Triggerzeitpunkte t_e des ersten Eintretens eines definierten Signalzustandes eingeführt, wobei die Definition des Triggerkriteriums über stochastische Kenngrößen auf Basis der Schwellwerte Z_t^+, Z_t^- erfolgt.

$$^Q t_e^A = \min\{t_N : {}^Q h^A(t_N, \omega) \in H_e, \ t_N \in T, \ H_e \in H\}$$

$$\text{mit} \quad {}^Q h^A(t_N, \omega) = Z_{t_N}^+(\omega) - Z_{t_N}^-(\omega).$$

Starke Schwankungen in der Folge der Zufallsgrößen

$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,}$

werden durch das Ansteigen der Intervallbreite

$$Z_{t_N}^+ - Z_{t_N}^- > a_g, \quad a_g \in \mathbf{R}^+,$$

z. B. über einen Grenzwert a_g angezeigt.

Aussagen über Monotonie-Verhalten der Folge der Zufallsgrößen

$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,}$

erhält man z. B. durch

$$^Q t_e^W \quad \text{mit} \quad {}^Q t_e^W := \min\{t_N : a_{t_N}^+ > n_w\},$$

$$\text{wobei} \left(a_{t_i}^+ = \left[\sum_{i=1}^{i} I_{\{X_{t_i} > Z_{t_{i-1}}^+\}}(\omega) \;\middle|\; I_{\{X_{t_i} > Z_{t_{i-1}}^+\}}(\omega) \right) \right..$$

Dabei gibt ${}^{Q}t_e^{W}$ den Zeitpunkt an, zu dem sich in der Folge der Zufallsgrößen

$$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots}$$

ein monotoner Trend (monoton wachsend) der Länge n_W zeigt.

Analog gilt für Abschnitte der Länge n_F, in denen die Folge

$$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots}$$

monoton fällt:

$${}^{Q}t_e^{F} := \min\{t_N : a_{t_N} > n_F\}$$

mit

$$a_{t_i} = \left[\sum_{i=0}^{N} I_{\{X_{t_i}(\omega) < Z_{t_{i-1}}\}}(\omega)\right] \cdot I_{\{X_{t_i}(\omega) < Z_{t_{i-1}}\}}(\omega).$$

Bemerkungen

1. Über die Schwellwerte Z_t^+ und Z_t^- lassen sich eine große Vielzahl von Signaleigenschaften beschreiben, die gleichzeitig zur Definition von Triggerkriterien herangezogen werden können.
2. Eine optimale Anpassung von Kenngrößen über Quantilwertschätzungen läßt sich durch geeignete Wahl von γ_t und α erreichen.

d. Rekursive Schätzung für Werte von Korrelationsfunktionen

Es seien

$$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots}, \quad \{Y_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots}$$

zwei Folgen von Zufallsgrößen mit

$Y_{t_i} = f \cdot (X_{t_{i+v}}, v \in \mathbf{R}^+, f$ — meßbar, es gelte

$\tau = v \cdot \Delta t, \Delta t := (t_{i+1} - t_i), \forall t$

und $\{X_{t_i}\}$ sei eine Folge unabhängiger Zufallsgrößen.

Durch

$$R_0(v) = r_0,$$

$$R_{t_{N+1}}(v) = R_{t_N}(v) - \gamma_{t_N}(R_{t_N}(v) - X_{t_{N+1}} \cdot X_{t_{N+1+i}})$$

ist eine rekursive Schätzung für die Autokorrelation des Prozesses X_T gegeben.

Mit ${}^{\tau}t_e^{Aut}$, wobei

$${}^{\tau}t_e^{Aut} := \min\{t_N : R_{t_N}(R_{t_{N-1}}, X_{t_{N+1}}, Y_{t_{N+1+i}}) \in H_e\}$$

wird der Triggerzeitpunkt eingeführt, zu dem die rekursive Punktschätzung der Autokorrelationsfunktion des Prozesses X_t in der Triggermenge H_e liegt.

Analog ist über die Kreuzkorrelation zweier Prozesse X_T, Y_T (nach obiger Defination) ein Triggerkriterium definierbar.

$\tau_{t_e}^{Cross}$ ist dabei definiert durch

$$\tau_{t_e}^{Cross} = \min \{t_N : C_{t_N}(C_{t_{N-1}}, X_{t_{N+1}}, Y_{t_{N+1+l}}) \in H_c\}$$

mit $C_0(v) = c_0$,

$$C_{t_{N+1}}(v) = C_{t_N}(v) - \gamma_{t_N}(C_{t_N}(v) - X_{t_{N+1}} \cdot Y_{t_{N+1+l}})$$

und somit der erste Zeitpunkt, zu dem die rekursive Schätzung für die Kreuzkorrelation der Folgen

$$\{X_t\}_{t=1,2,\ldots}, \{Y_t\}_{t=1,2,\ldots}$$

Werte in H_e annimmt.

Die Konvergenz beider rekursiver Verfahren für die Schätzung von Werten der Auto- und Kreuzkorrelationsfunktion für Folgen von Zufallsgrößen entsprechend den obigen Bedingungen folgt aus Satz A 2.

Satz A 2

Es sei

$$\{X_{t_N}, Y_{t_N}\}_{N=0,1,2,\ldots}$$

eine Folge zweidimensionaler zufälliger Vektoren mit

$$\{X_{t_N}\}_{N=0,1,2,\ldots}$$

einer Folge von unabhängigen Zufallsgrößen und

$$Y_{t_N} = g \cdot X_{t_{N+v}}$$

g und f seien meßbare Abbildungen.

Durch

$$Z_{t_N} = f \cdot (X_{t_N}, g \cdot x_{t_{N+v}})$$

sei eine Folge von Zufallsgrößen

$$\{Z_{t_N}\}_{N=0,1,2}$$

definiert

$$\mathfrak{F}_u = \sigma(Z_{t_N} : t_n \leq u)$$

ist die σ-Algebra der Ereignisse, die bis zum Zeitpunkt u in Zusammenhang mit dem zufälligen Prozeß Z_{t_N} eingetreten sind. Unter der Bedingung, daß

a) $E - Z_{t_N}^{2(k+1)} < \infty$,

b) $\gamma_t = \dfrac{C}{t+1}$

mit $t = 0, 1, 2, \ldots$, $c = \text{constant}$ gelten, konvergiert die Schätzfunktionsfolge $\{M_t\}$ mit

$M_0 := m_0$, beliebig, Startwert,

$M_{t+1} := M_{t+\gamma t}(Z_t^K - M_t)$, $K \in \mathbf{N}$

mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen den Erwartungswert

$E\,Z_t^K = \mu_K$.

Beweis

Der Beweis des Satzes folgt aus Punkt B0. In der dortigen Terminologie mit $\xi_t = Z_t$, $a(t) = \gamma_t$ wurde gezeigt, daß eine stationäre stark mischende Folge von Zufallsgrößen $Z_t(\omega)$ über einem Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \mathfrak{U}, P]$, wobei für

$\mathfrak{F}_u = \sigma(Z_{t_N}, t_N \leq u)$, insbesondere die Bedingung

$$\alpha(\tau) = \sup_{s>0}\ \sup_{\substack{A \in \mathfrak{F}_0^s \\ B \in \mathfrak{F}_{s+\tau}^\infty}} |P(A \cap B) - P(A) \cdot P(B)| \xrightarrow[\tau \to \infty]{} 0 \quad (*)$$

erfüllt ist und unter den Bedingungen a) und b) des Satzes die oben definierte Schätzfunktionenfolge (M_t) mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen $E\,Z_t^K = \mu_K$ konvergiert. Es bleibt zu zeigen, daß $\mathfrak{F}_u$ die Bedingung (*) erfüllt. Es sei $\tau > t_{N+v} - t_N$.

Es gilt:

$$\mathfrak{F}_0^s = \sigma(Z_{t_N}\ t_N \leq s) = \sigma(f \cdot (X_{t_N} \cdot g \cdot (X_{t_{N+v}})) : t_N \leq s)$$

$$\mathfrak{F}_{s+\tau}^\infty = \sigma(Z_{t_N} : t_N \geq s+\tau) = \sigma(f \cdot (X_{t_N} \cdot g \cdot (X_{t_{N+v}})) : t_N > s+\tau)$$

$$X_{t_1}, \ldots, X_{t_N}, X_{t_{N+1}}, \ldots, X_{t_{N+v}}, \ldots, X_{t_M}, \ldots$$

sei eine Folge unabhängiger Zufallsgrößen.

Es gilt:

$$((X_{t_i}, X_{t_j}), (X_{t_K}, X_{t_l}))$$

sind unabhängige zufällige Vektoren mit $i \neq j \neq K \neq l$, wobei o. B. d. A. $i < j < K < l$ gelte.

Aufgrund von Meßbarkeitseigenschaften gilt für die zufälligen Größen

$$f_1 = f \cdot (X_{t_i}, g \cdot X_{t_j}) \quad \text{und} \quad f_2 = f \cdot (X_{t_K}, g \cdot X_{t_l})$$

mit f-meßbare Funktion, daß $f_1(\omega)$ und $f_2(\omega)$ unabhängig sind.

Setzt man $t_i = t_N$; $t_j = t_{N+v}$; $t_K = t_{N+w}$ und $t_l = t_{N+w+v}$ mit $t_{N+w} - t_N \geq \tau$ und $w > v$, so sind die Zufallsgrößen

$$Z_{t_N} = (f \cdot (X_{t_N} \cdot g \cdot (X_{t_{N+v}}))) \quad \text{und}$$

$$Z_{t_{N+w}} = (f \cdot (X_{t_{N+w}} \cdot g \cdot (X_{t_{N+w+v}})))$$

unabhängig. Setzt man o. B. d. A. $s = t_N$, so folgt wegen der Unabhängigkeit von

$$(Z_{t_N}, Z_{t_{N+w}}) \quad \text{mit} \quad w > v \quad \text{und} \quad t_{N+w} - t_N \geq \tau$$

$\alpha(\tau) = 0$ und damit der Beweis des Satzes ■

Bemerkungen

1. Für $g = 1$ erhält man ein rekursives Schätzverfahren für die Autokorrelationsfunktion von $\{X_t\}$.
2. Gilt

$$Y_{t_N} = g \cdot X_{t_{N+v}},$$

so erhält man ein rekursives Schätzverfahren für die Kreuzkorrelation zwischen

$$\{X_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots} \quad \text{und} \quad \{Y_{t_i}\}_{i=1,2,\ldots},$$

die Struktur

$$Y_{t_N} = g \cdot X_{t_N}$$

ist in praktischen Anwendungen häufig gegeben, etwa bei Stoßfortpflanzung über eine Welle bzw. Beeinflussungen zwischen benachbarten Meßstellen biomedizinischer Signale.

3. Ein zur Autokorrelation ähnliches Verfahren, das in praktischen Anwendungen (insbesondere zur Überwachung auf spezielle Frequenzkomponenten) anwendbar ist, erhält man über

$$f(X_{t_N}, X_{t_{N+v}}) = |X_{t_N} - X_{t_{N+v}}|$$

3.5. Konstruktion von Verfahren zur Struktur- und Mustererkennung mittels komplexer Triggerung

Es sei $\{k^1, \ldots, k^L\}$ eine Teilmenge der Menge der Auslösekanäle K_a und $a^1, \ldots, a^L$, die entsprechend dem Auslösekanal erfaßbaren Triggersignale (deterministische, stochastische oder Mischstrukturen). Zur Vereinfachung der Darstellung wird eine graphische Symbolik vergl. **Fig.** A 5 zur Kennzeichnung von Triggermodulen eingeführt.

Als Triggermodul TM^i bezeichnet man dabei einen Algorithmus A_i (Rechnerprogramm-Modul), der den Zeitpunkt t_e^i des ersten Eintretens eines Triggerkriteriums $\{h^i(a) \in H_e^i\}$ bestimmt.

Es sei $a = (a^1, \ldots, a^L)$ der Vektor der Auslösekanäle und

$$a^i = (a^i_{t_{N-M+1}}(\omega), \ldots, a^i_{t_N}(\omega))$$

eine Stichprobenfunktion des Meßkanals i mit der Zeitbasis $\{t_{N-M+1}, \ldots, t_N\}$. h sei eine meßbare Funktion mit

$$h: E_1{}^1 x \ldots x E_M{}^1 x \ldots x E_1{}^L x \ldots x E_M{}^L \rightarrow \mathbf{R}.$$

Dann läßt sich durch $\{h(a^1, \ldots, a^L) \in H_e, H_2 \in \mathbf{R}\}$ ein mehrkanaliges Triggerkriterium konstruieren.

Definition A 9

Eine Triggerung heißt komplexe Triggerung, falls der Zeitpunkt t_a der Auslösung des Start/Stop eines Meßvorganges als logisch arithmetischer Ausdruck von Zeitpunkten t_e des ersten Eintretens von Triggerkriterien und zeitlichen Verzögerungskonstanten t_v darstellar ist.

Eine allgemeine Darstellung einer komplexen Triggerung wird in **Fig.** A 6 gegeben. Komplexe Triggerverfahren dienen der Indikation von Signalmustern und Strukturen, die entsprechend einer technischen oder medizinischen Problemstellung definiert werden. Anwendungen dieser Methode sind im Ausführungsbeispiel beschrieben, dabei wurde folgendes Konstruktionsprinzip verwendet.

Es beruht auf mehreren Verfahrensschritten:

1. Voruntersuchungen zur Signalstruktur der Triggersignale
   - Reproduzierbarkeit,
   - Variantenvielfalt und -breite,
   - zeitliche Regimes in Mustern,
   - Zeitsynchronität zwischen unterschiedlichen Kanälen zur Ermittlung von Verzögerungskonstanten.

2. Signalsegmentierung
Untersuchung der Triggersignale in bezug auf mathematisch beschreibbare Signaleigenschaften, Bestimmung von Signalabschnitten gleicher Eigenschaften und Charakterisierung der zeitlichen Abfolge von Segmenten unterschiedlicher Signaleigenschaften.

3. Auswahl, Anpassung und Optimierung der Triggerverfahren zur Erkennung der Signaleigenschaften in den einzelnen Segmenten Auswahl des Triggerkriteriums, Wahl der Folge γ_n, Einstellung von Regelgrößen (α u. a.).

4. Arithmetische und logische Verknüpfung, vergl. **Fig.** A6 der prozeßangepaßten Triggerverfahren entsprechend dem zeitlichen Regime der zu erkennenden Muster und Strukturen.

Bemerkungen

1. Für mehrkanalige Untersuchungen liegt entweder Unabhängigkeit der Triggersignale $a^1, \ldots, a^L$ vor, oder sie wird im Modell vorausgesetzt, so daß bei stochastischen Signalstrukturen bzgl. der entsprechenden Wahrscheinlichkeitsräume keine zusätzlichen Überlegungen notwendig sind.

2. Bei der Verallgemeinerung der Triggerbegriffe, ausgehend von dem technisch bekannten Stand, bietet die Einführung der mathematischen Struktur Stoppzeit die Möglichkeit, die in der Arbeit konstruierten Triggerkriterien in einheitlicher Form zu definieren und unter Ausnutzung von Eigenschaften von Stoppzeiten zu einem verallgemeinerten Modell der Triggerung zu gelangen. Von großer praktischer Bedeutung ist dabei die Tatsache, daß logische und arithmetische Verknüpfungen (Mehrkanalanalyse) im allgemeinen nicht aus Stoppzeitenmodellen herausführen.

A. 6. Zeitlich dynamische Triggerung in Meßwerterfassungssystemen

Es sei a(t) ein Triggersignal und $k_a \in K$ der dazugehörigen Triggerkanal. Die Folge

$$\{t_a^i\}_{i=1,2,\ldots}$$

charakterisiere Auslösezeitpunkte bzgl. Triggerkriterien auf a(t) gemäß (A. 1/1).

Definition A 10

Unter zeitlich dynamischer Triggerung von Meßwerterfassungssystemen versteht man die Erfassung (Messung) von Werten x_i auf einem oder mehreren Meßkanälen

$$(k^{j1}, \ldots, k^{jn}), k^{jK} \in K$$

mit der Zeitbasis[a], wobei als Zeitbasis T^a die Folge der Auslösezeitpunkte

$$T^a = \{t_a^i\}_{i=1,2,\ldots}$$

dient. Als Ergebnis einer zeitlich dynamisch getriggerten Meßwerterfassung liegen Meßreihen der Form

$$x_i = (x_{t_a^i}^{j1}, \ldots x_{t_a^i}^{jN_i}) \quad \text{mit} \quad k^j \in K, \; 0 < N_i < \infty$$

vor.

Zur Ermittlung der Zeitpunkte t_a^i können Verfahren gemäß A.1. bis A.4. herangezogen werden.

Die praktische Bedeutung von Verfahren der zeitlich dynamischen Triggerung liegt in ihrem Beitrag zur Lösung von Problemstellungen wie

1. Optimierung des Verhältnisses Abtastfrequenz zu Datenmenge,
2. Datenreduktion durch ereignisbezogene Meßwertaufnahme,
3. Konstruktion von Überwachungsverfahren mit geringem Speicherplatzbedarf.

Anhand der Optimierung von Abtastfrequenzen soll im folgenden Methodik und Konstruktionsprinzipien zeitlich dynamischer Triggerverfahren dargestellt werden.

Algorithmen zur Wahl der Abtastfrequenz f_A (bzw. der Zeitbasis T)

Die Fragestellung nach der Wahl der Abtastfrequenz f_A im Sinne einer Optimierung des Verhältnisses Abtastfehler und Datenmenge ist in der Literatur als Abtasttheorem bekannt und behandelt worden, dabei wird gefordert

$$\frac{1}{f_A} \le \frac{\pi}{f_g}: \; f_g \text{ — obere Grenzfrequenz des Signales a(t).}$$

Dies setzt für das Leistungsspektrum $S_{AA}(f)$ von a(t) voraus, daß gilt:

$$S_{AA}(f) = 0; \; \forall f > f_g. \quad \text{(A.6/1)}$$

In den meisten praktischen Anwendungen ist a(t) ein stochastisches Signal mit Tiefpaßverhalten und somit (A.6/1) nur in wenigen Fällen gegeben. Unter anderem werden in der Literatur Verfahren zur Bestimmung der Abtastzeit und entsprechende Fehlerabschätzungen gegeben. Grundgedanke der dort angegebenen Verfahren ist es, die Optimierung der Abtastfrequenz über die Ermittlung der Zeitpunkte der Mittelwertdurchgänge bzw. der Zeitpunkte des Auftretens von Signalextrema zu erreichen. Die Ermittlung dieser Zeitpunkte kann man über die folgenden adaptiven Triggerverfahren vollziehen.

Ermittlung der Zeitpunkte der Mittelwertdurchgänge

Es sei T^m eine äquidistante Zeitbasis mit

$$T^m = \{t_i^m\},\ i = 1, 2, \ldots,\ \Delta t_i^m = \tau^m,\ \forall i \quad \text{und} \quad \{X_{t_i^m}\}$$

ein stochastischer Prozeß mit der Zeitbasis T^m. Aus der praktischen Problemstellung heraus muß gesichert sein, daß τ^m kleiner als die kleinste Zeitspanne zwischen zwei Mittelwertdurchgängen gewählt werden kann. Aus diesem Grunde wird

$$\tau^m \text{ ogft als } \tau^m = \frac{1}{f_A^{max}}$$

angcsctzt, wobci f_A^{max} dic maximal mögliche Abtastfrequenz des Meßwerterfassungssystems dargestellt. Im anderen Fall ist für die Problemstellung ungeeignet. Zur Konstruktion des Verfahrens verwendet man die Abbildung ${}^m h^1$ aus Folgerung A5 (adaptive Mittelwertbildung). Der Einfachheit halber setzt man ${}^m h^1 = h$.

Es gilt:

$$h_0 = c - \text{constant},$$

$$h_{t_n^m} = h_{t_{n-1}^m} - \gamma_n (h_{t_{n-1}^m} - X_{t_n^m}).$$

Ein Mittelwertdurchgang wird dann durch

$$Y_{t_n} = \begin{cases} 0 & h_{t_n^m} \notin [X_{t_{n-1}^m}, X_{t_n^m}]^* \\ 1 & h_{t_n^m} \in [X_{t_{n-1}^m}, X_{t_n^m}]^* \end{cases}$$

charakterisiert,
man definiert $[a, b]^* := [\min\{a, b\}, \max\{a, b\}]$.

Die mittlere Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Mittelwertdurchgangen im Intervall I_k mit $I_k = [t_1^m, t_k^m]$ berechnet sich dann nach

$$\tau_{mittel} = \frac{\tau^m \cdot k}{Y^k},$$

wobei

$$Y^k = \sum_{i=2}^{k} Y_{t_i^m}$$

gilt. Durch

$$Y^k = \sum_{i=2}^{k} Y_{t_i^m} = \sum_{i=2}^{k} I_{\{h_{t_i^m} \in (X_{t_{i-1}^m}, X_{t_i^m})\}},$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=2}^{k} |\operatorname{sgn}(X_{t_{i-1}^m} - h_{t_i}^m) - \operatorname{sgn}(X_{t_i}^m - h_{t_i}^m)|$$

wird eine einfache Berechnungsvorschrift für Y^k gegeben. Die Zeitpunkte der Mittelwertdurchgänge

$$t_e^0 = \min\{t_n^m .\ Y_{t_n^m} = 1,\ t_n^m \in T^m\},$$

$$t_e^j = \min\{t_n^m :\ Y_{t_n^m} = 1,\ t_n^m > t_e^{j-1},\ t_n^m \in T^m\} \quad (**)$$

sind wegen dem Triggerkriterium

$${}^m h_{t_n^m}^1 \in [X_{t_{n-1}^m}, X_{t_n^m}]$$

nach Folgerung A5 Stoppzeiten bzgl. $\mathfrak{F}_t$.

Die Bestimmung einer prozeßangepaßten Zeitbasis

$$T^P = \{t_i^P\}_{i=1,2,}$$

für die Abtastung des Prozesses $\{X_t\}$ ist u. a. auf Grundlage folgender Kenngröße mit

$$\tau^P = \min\{t_e^l - t_e^{l-1},\ t_e^l \text{ nach } (**)\} \quad \text{und}$$

$$T^P = \{t_i^P\}_{i=1,2,} = \left\{i \cdot \frac{\tau^P}{2}\right\}_{i=1,2,}$$

möglich.

B. Anwendung von Methoden der stochastischen Approximation zur Konstruktion adaptiver Schätzfunktionenfolgen

B.0. Stochastische Approximation

In der Theorie der stochastischen Approximation wird davon ausgegangen, daß eine in ihrem Verlauf unbekannte Funktion R(x) in beliebigen Punkten x der reellen Achse E_1 "gemessen" werden kann. Nur gewisse Charakteristika der Funktion R(x), betreffs ihrer Stetigkeit, Monotonie usw. seien gegeben und insbesondere sei bekannt, daß die Gleichung

$$R(x) = \alpha, \alpha \in E_1 \qquad (B./1)$$

eine eindeutige Lösung x_0 besitzt. Eine Aufgabe wird nun darin gesehen, mit Hilfe der Meßdaten von R(x) (der Meßfehler sei dabei nicht vernachlässigbar) eine Folge konsistenter Punktschätzungen für x_0 zu konstruieren.

Diese Aufgabe ist folgendermaßen lösbar:

Es sei $Y_{t+1}(X(t),\omega)$ das Resultat der Messung in X(t) zur Zeit t+1.

In einer einfachen Situation ist z. B.

$$Y_{t+1}(X(t),\omega) = R(X(t)) + G(t+1, X(t), \xi(t+1,\omega)) \qquad (B./2)$$

wobei die $\xi(t, \omega)$ eine Folge unabhängiger Zufallsgrößen sind, die über einem gewissen Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \ , P]$ definiert sind.

$E\, G(t, x, \xi(t, \omega)) = 0$ für ein beliebiges $x \in E_1$, $t = 1,2,\ldots$ und G(t, x, y) eine unbekannte Funktion der Veränderlichen t, x, y ist.

Die Meßwerte Y_t werden nun als "Korrekturgrößen" in einer rekurrent definierten Schätzfunktionenfolge für x_0 folgendermaßen genutzt:

$$X(0) = x \qquad x \in E_1, t = 0, 1, 2,\ldots$$

$$X(t+1) - X(t) = a(t)\ Y_{t+1}(X(t),\omega) \qquad (B./3)$$

Dabei ist a(t) eine Folge positiver Zahlen, die den Bedingungen

$$\sum_{t=0}^{\infty} a(t) = \infty, \quad \sum_{t=0}^{\infty} a^2(t) < \infty \qquad (B./4)$$

genügt.

Unter geeigneten Voraussetzungen an R(x) konvergiert dieser, in einer grundlegenden Arbeit von Robbins und Monro 1951 definierte Prozeß gegen x_0.

In zahlreichen folgenden Arbeiten wurden die Ergebnisse von Robbins und Monro verallgemeinert. Statt der zunächst gezeigten Konvergenz im Quadratmittel, wurde unter schwächeren Voraussetzungen auch für den Fall, daß x und R(x) Vektoren aus E_n (n-dimensionaler Euklidischer Raum) sind und Modifikationen des Prozesses (B./3), Konvergenz mit Wahrscheinlichkeit Eins bewiesen.

Satz B1.

Ein zufälliger Prozeß $X^{m,x(m)}(t)$ mit diskreter Zeit sei definiert nach der rekurrenten Beziehung

$$X(t+1) = \Phi(t+1, X(t), \omega) \qquad (B./5)$$

$\Phi(t, x, \omega)$, $t = 0, 1, 2,\ldots$ $x \in E_1$, sei eine Menge vektorieller Größen, gegeben über einem Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \mathfrak{U}, P]$ und genügen folgenden Bedingungen:

A1. Die Funktion $\Phi(t, x, \omega)$ mit Werten aus E_l sei $\mathfrak{B}_l x\, \mathfrak{U}$ — meßbar für jedes $t = 0, 1, 2, \ldots$ (mit $\mathfrak{B}_l$ wird die σ Algebra der Borelmengen bezeichnet)

A2. Es existiere eine Familie von σ-Algebra $\mathfrak{F}_n$ von Teilmengen der Menge Ω derart, daß $\mathfrak{F}_m \subset \mathfrak{F}_n$ für $m < n$, und die Familie $\Phi(n, x, \omega)$ sei $\mathfrak{F}_n$ — meßbar und unabhängig von $\mathfrak{F}_{n-1}$.

Dann ist der Prozeß $X^{m,x(m)}(t)$ mit der Anfangsbedingung $X(m)$ (meßbar bzgl. der σ-Algebra $\mathfrak{F}_m$) markovsch. Seine Übergangsfunktion ist gegeben durch

$$P(u, x, u+1, \Gamma) = P(\Phi(u+1, x, \omega) \in \Gamma)$$

mit $\Gamma \in \quad _l$.

Mit den Bezeichnungen C_z^o für die Menge der reellwertigen zweimal stetig differenzierbaren Funktionen, deren zweite partielle Ableitungen beschränkt sind,

$$\rho(x, B) = \inf_{y \in B} \rho(x, y)$$

für den Abstand des Punktes x von der Menge B,

$U_\varepsilon(B) = \{x \in E_l : \rho(x, B) < \varepsilon\}$ (Epsilonumgebung von B)

und $U_{\varepsilon,1/\varepsilon}(B) := (E_l/U_\varepsilon(B)) \cap \{x : |x| < 1/\varepsilon\}$

gilt.

Satz B2: Es sei ein markovscher Prozeß $X^x(n)$ nach der Rekursionsformel

$$X(t+1) - X(t) = a(t)[R(X(t)) + G(t+1, X(t), \omega)] \quad (B./6)$$

mit der Anfangsbedingung $X^{x(o)} = x$ definiert, und es existiere eine nicht negative Funktion $V(x) \in C_z^o$, die der Bedingung

$$\lim_{|x| \to \infty} V(x) = \infty \quad (B./7)$$

und den Ungleichungen

$$\sup_{x \in U_{\varepsilon,1/\varepsilon}(B)} < R(x), \frac{\delta V(x)}{\delta x} > \; < 0 \quad \text{für} \quad \epsilon > 0,\; x \in E_l \quad (B./8)$$

$$|R(x)|^2 + E\,|G(t, x, \omega)|^2 \leq K(1 + V(x)) \quad K = \text{const.}$$

genügt.

$G(t, x, \omega) + R(x)$ genüge den Bedingungen A1 und A2 von Satz (B./1) und es sei

$$E\,G(t, x, \omega) \equiv 0. \quad (B./9)$$

Außerdem gelte

$$a(t) > 0, \quad \sum_{t=0}^{\infty} a(t) = \infty, \quad \sum_{t=0}^{\infty} a^2(t) < \infty, \quad (B./10)$$

und es bezeichne $B := \{x^6 : R(x) = 0\}$.

Dann gilt

$$P(\lim_{t \to \infty} \rho(X^x(t), B) = 0) = 1$$

Im weiteren werden einige Voraussetzungen angegeben, die zur Beibehaltung der Konvergenzaussagen der Prozedur (B./6) unter Abschwächung der Bedingung A2 führen und damit eine Anwendung von Methoden der stochastischen Approximation auf Problemstellungen stationärer zufälliger Prozesse ermöglichen.

Es existiere eine wachsende Familie von σ-Algebren $\mathfrak{F}_e^t \subset \mathfrak{U}$ $(0 \leq s \leq t \leq \infty)$ derart, daß eine der beiden Gruppen von Bedingungen erfüllt ist.

B1.) Für jedes x und t sei $G(x, t, \omega)$ darstellbar in der Form

$$G(x,t,\omega) = \sum_{j=1}^{m} U_j(x,t)\, V_j(t,\omega) \quad (m<\infty) \qquad (B./11)$$

und $V_j(t,\omega)$ $(1 \leq j \leq m)$ sei $\mathfrak{F}_t^t$ – meßbar

Die Familien $\mathfrak{F}_e^t$ seien stark mischend, d. h.

$$\alpha(\tau) = \sup_{s>0} \sup_{A \in \mathfrak{F}_0^s,\, B \in \mathfrak{F}_{s+\tau}^\infty} |P(A \cap B) - P(A)\,P(B)| \underset{\tau \to \infty}{\longrightarrow} 0. \qquad (B./12)$$

B2.) Für jedes x und t seien die zufälligen Größen $\mathfrak{F}_t^t$ — meßbar und die Familie $_e^t$ sei absolut regulär, d. h.

$$\beta(\tau) = \sup_{s>0} \operatorname{Var}_{D \in \mathfrak{F}_0^s \times \mathfrak{F}_{s+\tau}^\infty} [P_{s,\tau}(D) - P_s \times P_\tau(D)] \underset{\tau \to \infty}{\longrightarrow} 0, \qquad (B\,3.13)$$

wobei für Mengen der Form

$A_1 \times A_2 \subset \Omega \times \Omega, A_1 \in N_0^e, A_2 \in N_{s+\tau}^\infty$
$P_{s,\tau}(A_1 \times A_2) := P(A_1 \cap A_2)$
$P_e \times P_\tau(A_1 \times A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2)$

Es gilt $\alpha(\tau) \leq \beta(\tau)$.
Satz B3: Folgende Voraussetzungen seien erfüllt:

Gleichung (B./1) besitze eine eindeutige Lösung r.
Es existiere eine symmetrische pos. Matrix D und ein $\lambda > 0$ derart, daß für alle $x \in E^n$

$$< DR(x),\, x-r > \;\leq\; -\lambda < D(x-r),\, x-r> \qquad (B./14)$$

$$|R(x)| < C\,(1+|x|) \quad C = \text{const.} \qquad (B./15)$$

$$a(t) = \frac{a}{t} \quad a = \text{const.}$$

Es ex. $\sigma G/\sigma x$ und

$$E \sup_x |G(x,t,\omega)|^\gamma < C, \; |E \sup_x \left| \frac{\delta G}{\delta x}(x,t,\omega) \right|^\gamma < C \qquad (B./16)$$

oder falls sich G faktorisieren läßt

$$|U_j| < C \left| \frac{\delta U_j}{\delta x} \right| < C, \quad E\,|V(\omega)|^\gamma < C \quad C = \text{const.}$$

mit $\gamma = 2 + m$ und m gerade
Für den Mischungskoeffizienten $\beta(t)$ in B1 oder B2 gelte $\beta(t) \leq C(\ln t)^{-z(m+z)(1+h)/m}$ für $h > 0$, und $\beta(t) \leq C\,t^{-h}$.
Dann konvergiert der Prozeß (B./6) mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen r.

B.1. Zur Konstruktion stark konsistenter rekurrenter Schätzfunktionenfolgen

Die rechnergestützte Realisierung von grundlegenden Aufgaben der mathematischen Statistik, z. B. der Konstruktion konsistenter Schätzfunktionenfolgen, wird in der Regel von einigen zusätzlichen praktischen Forderungen begleitet, die nicht aus den üblichen Gütekriterien für Schätzungen abgeleitet werden. Das sind Fragen der Rechengeschwindigkeit, der Speicherplatzeffektivität, der kontinuierlichen Auswertbarkeit einer Schätzfunktionenfolge zu jedem Folgezeitpunkt sowie Fragen einer raschen Anpassung der Algorithmen nach Veränderungen in den Schätzbedingungen (Strukturbrüche) und der Robustheit gegenüber Verletzungen in gemachten Voraussetzungen. Rekurrent definierte Schätzfunktionenfolgen stellen zur Lösung derartiger Probleme eine wichtige Grundlage dar.

In einigen Fällen lassen sich Schätzfunktionenfolgen leicht in die gewünschte Form bringen. Ein klassisches Beispiel ist die Erwartungswertschätzung M_n, die auf der Realisierung einer Folge unabhängiger identisch verteilter Zufallsgrößen $(\xi_n)_{n=0,1,2,\ldots}$ basiert. Bezeichnen wir mit x_i die Realisierung der Zufallsgröße ξ_i, dann ist

$$M_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

stark konsistente Schätzfunktionenfolge für $E\,\xi_i$. M_n kann nun über triviale Umrechnungen rekurrent dargestellt werden:

$$M_0 = x_0 \quad (B./17)$$

$$M_{n+1} = M_n - \frac{1}{n+1}(M_n - x_{n+1}) \quad n = 0, 1, 2, \ldots$$

In dieser Form rechentechnisch realisiert, ist die Entwicklung der Folge in Auswertungen direkt einbeziehbar. Außerdem braucht die Folge der $\{x_i\}_{i=0,1,2,\ldots}$ nicht gespeichert zu werden. Lediglich der vergangene Schätzwert M_n, der "aktuelle Meßwert" x_{n+1} und der "Zeitpunkt" $n+1$ gehen in die Berechnung des neuen Schätzwertes M_{n+1} ein. Ein Nachteil dieser Vorgehensweise liegt darin begründet, daß die rechentechnisch für diese Aufgabe komplizierteste Operation, die Division, zu jedem Zeitpunkt durchgeführt werden muß.

Der Ideenapparat der stochastischen Approximation initiiert nun sowohl Konstruktionsmethoden (auch für bezüglich der rekursiven Darstellbarkeit nicht so einfach Schätzalgorithmen) als auch Verallgemeinerungen, die zur Lösung der oben genannten praktischen Erfordernisse beitragen. Die Schätzfunktionenfolgen erhalten im allgemeinen eine Gestalt der Art

$$S_0 = s_0 \quad \text{(Startwert)}$$

$$S_{n+1} = S_n - a_n\ K(S_n \cdot x_{n+1}) \quad (B./18)$$

wobei $\{a_n\}_{n=0,1,2,\ldots}$ eine Zahlenfolge und K eine Korrekturgröße für die Schätzung S_n darstellt, die nur von S_n und dem aktuellen Realisierungswert x_{n+1} abhängt.

Im weiteren sollen dafür einige Beispiele angegeben werden.

In diesen sei $\{\xi_t\}_{t=0,1,2,\ldots}$ Folge unabhängiger identisch verteilter Zufallsgrößen über einem Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$ mit der Verteilungsfunktion F.

Satz B4. Es sei

$$M_0 = m_0 = \text{const.} \quad \text{(Startwert)}$$

$$M_{t+1} = m_t - a_t\ (M_t - \xi_{t+1}{}^k) \quad (B./19)$$

mit $\{a_t\}_{t=0,1,2,\ldots}$ Folge reeller Zahlen, die den Bedingungen (B./4) genüge. Weiter gelte $E\,\xi_t{}^{zk} < \infty$.

Dann konvergiert die Schätzfunktionenfolge $\{M_t\}_{t=0,1,2,\ldots}$ definiert nach (B./19) mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen $\mu_k := E\,\xi_1{}^k$.

Beweis: Bezeichnen wir mit $\mathfrak{F}_n := \sigma(\xi_0, \ldots, \xi_n)$ die von $\xi_0, \ldots, \xi_n$ erzeugte Teil-σ-Algebra von $\mathfrak{A}$, dann hat der mit (B./19) rekurrent definierte Prozeß die im Satz B2. geforderte Gestalt (insbesondere sind die Bedingungen A1 und A2 des Satzes B1. erfüllt).

Es wird nun

$$Y_{t+1}(x, \omega) = R(x) + G(t, x, \xi_{t+1}(\omega)) := (\mu_x - x) + (\xi_{t+1}{}^k - \mu_k) = \xi_{t+1}{}^k - x \quad (B./20)$$

gesetzt.

Dann verbleibt unter Einbeziehung von Satz B2 zu zeigen:

$EG(x, \omega) \equiv 0$, was offensichtlich trivial erfüllt ist. (B./21)

Mit $v(x) := x^2$ und $B := \{\mu_k\}$ ist

$$\sup_{x \in U_{\varepsilon,1/\varepsilon}(B)} \left\langle R(x), \frac{\delta V(x)}{\delta x} \right\rangle = \quad (B./22)$$

$$\sup_{\varepsilon < |x - x_0| < 1/\varepsilon} (\mu_k - x)(x - \mu_k) < 0 \text{ für beliebiges } \varepsilon > 0$$

$$|R(x)|^2 + E\,|G(t, x, \omega)|^2 = (\mu_k - x)^2 + E\,(\xi_t^k - \mu_k)^2 \leq C(1 + x)^2 \quad (B./23)$$

Damit ist für bekannten $E\,\xi_1 = : \mu$ mit

$$S_0{}^2 = s_0{}^2$$

$$S_{t+1}^2 = S_t^2 - a_t(S_t^2 - (\xi_{t+1}-\mu)^2) \quad (B./24)$$

auch eine stark konsistente Schätzfunktionenfolge für Var $\xi_1 = : \sigma^2$ Ist μ unbekannt, wird μ in (3.3.24) durch seine Schätzung gemäß (B./19) mit $k = 1$ ersetzt.

Satz B5. Es existiere die Dichte $f(x)$ der Zufallsgrößen ξ und f sei in x_α (α-Quantil von F_ξ) stetig, $f(x_\alpha) > 0$. Weiter sei

$$X(0) = x \text{ (Startwert)} \quad (B./25)$$

$$X(t+1) = X(t) + a_t Y_{t+1}(X(t), \xi_{t+1}(\omega))\ t = 0, 1, 2, \ldots$$

$$\text{mit } Y_t(x, \xi_t(\omega)) = \begin{cases} \alpha - 1 & \text{für } \xi_t(\omega) < x, \quad 0 < \alpha < 1 \\ \alpha & \text{für } \xi_t(\omega) \geq x \end{cases} \quad (B./26)$$

und $\{a_t\}_{t=0,1,2,\ldots}$ Folge reeller Zahlen, die den Bedingungen (B./4) genüge.

Dann konvergiert die Folge $\{X(t)\}_{t=0,1,2,\ldots}$ mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen x_α.

Beweis: Es sei $R(x) = \alpha - F_\xi(x)$

Unter Nutzung von Satz B2. bleibt zu zeigen:

$$EG(t, x, \xi_t) = E(Y(x, \xi_t) - R(x)) = (\alpha-1)F_\xi(x) - R(x) + \alpha(1-F_\xi(x)) = -F_\xi(x) + \alpha - \alpha + F_\xi(x) \equiv 0$$

$$\sup_{\varepsilon < x - x_\alpha < 1/\varepsilon} (\alpha - F_\xi(x)\ (x - x_\alpha) < 0 \quad \text{für alle} \quad \varepsilon > 0$$

wegen $f(x_\alpha) > 0$ und der Stetigkeit von f.

$$R^2(x) + EG^2(t, x, \xi_t) = EY^2(x, \xi_t(\omega)) = (\alpha-1)^2 F(x) - \alpha^2(1-F(x)) \leq 2$$

Eine mögliche Methode zur Schätzung von Wahrscheinlichkeitsdichten gründet auf der Darstellung einer quadratisch integrierbaren Dichtefunktion $f(x)$ als Reihe von orthogonalen Funktionen

$$f(x) = \Sigma\, \Theta_j\, \varphi_j(x) \quad (B./27)$$

mit $\{\varphi_j\}_{j=0,1,2,\ldots}$ orthogonales Funktionssystem. Das Problem besteht dann in der Schätzung der Fourierkoeffizienten

$$\Theta_j = \int f(x)\, \varphi_j(x)\, dx \quad j = 1, 2, \ldots \quad (B./28)$$

Erwartungstreue Schätzungen hierfür sind

$$\hat{\Theta}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \varphi_j(x_i) \quad j = 1, 2, \ldots \quad (B./29)$$

Als Schätzung der Dichte kann dann

$$\hat{f}(x) = \sum_{i=0}^{g(n)} \Theta_i \varphi_i(x) \quad \text{mit } g(n) \underset{n \to \infty}{\to} \infty \quad (B./30)$$

gewählt werden.

Die Schätzfunktionenfolge $\hat{f}_{g(n)}(x)$ ist streng konsistent, falls eine mathematische Stichprobe $\{X_n\}_{n=1,2,\ldots}$ zugrunde liegt. Die Konsistenz kann aber auch für den Fall nachgewiesen werden, daß $\{X_n\}_{n=1,2,\ldots}$ eine stationäre, streng mischende Folge von beschränkten Zufallsgrößen ist.

Die Gestalt der

$$\Theta_j = E\varphi_j(X)$$

motiviert nicht nur noch einmal die Schätzer (B./29), sondern legt auch den Gedanken nahe, die Parameter Θ_j rekursiv zu schätzen.

Satz B6. Sei $f(x)$ quadratisch integrierbare Dichtefunktion und $\{X_n\}_{n=1,2,\ldots}$ unabhängig, identisch nach $f(x)$ verteilte Zufallsgrößen.

Weiter sei

$\Theta_j^0 = \Theta$ (Anfangswert, fest aber beliebig)

$\Theta_j^{n+1} = \Theta_j^n - a_n(\Theta_j^n - \varphi_j(X_n))\ j = 1, \ldots, g_n$ (B./31)

wobei $\{a_n\}$ eine Zahlenfolge ist, die den Bedingungen

$\Sigma a_n = \infty, \Sigma a_n^2 < \infty$

genügt.

Dann konvergiert die Folge $\{(\Theta_0^n, \ldots, \Theta_{g_n}^n)\}$ mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen $(\Theta_0, \ldots, \Theta_{g_n})$.

Wie in Abschnitt B.0. bereits angedeutet, lassen sich die oben angegebenen Konstruktionsmethoden für rekurrente stark konsistente Schätzfunktionenfolgen auch unter gewissen Abhängigkeitsverhältnissen der Beobachtungswerte realisieren.

Es sei nun $\{\xi_t(\omega)\}_{t=0,1,2,\ldots}$ eine stationäre stark mischende Folge von Zufallsgrößen über einem Wahrscheinlichkeitsraum $[\Omega, \mathfrak{A}, P]$. Insbesondere erfülle die Folge von Teil-σ-Algebren von $\mathfrak{A}\mathfrak{F}_u := \sigma(\xi_0, \ldots, \xi_u)$ die Bedingung (B./12).

Als rekurrente Schätzfunktionenfolge wird

$M_0 = m_0$ (Startwert, beliebig, aber fest)

$M_{t+1} = M_t + a_t(\xi_t^k - M_t)\ k \in N$ (B./32)

gesetzt. Dann gilt Satz B7.

Unter der Bedingung, daß

a) $E\ \xi_t^{Z(k+1)} < \infty$ (B./33)

b) $a_t = \dfrac{c}{t+1}\ t = 0,1,1,\ldots$ (B./34)

konvergiert die Schätzfunktionenfolge $\{M_t\}$ definiert nach (B./32) mit Wahrscheinlichkeit Eins gegen $E\ \xi_t^k = \mu_k$.

Beweis: Es wird

$$Y_t(x, \omega) := \xi_t^k(\omega) - x = -(x - \mu_k) + (\xi_t^k - \mu_k)$$
$$= : R(x) + G(t, \xi_t^k(\omega)) \quad \text{(B./35)}$$

gesetzt.

Dann verbleibt unter Einbeziehung von Satz B.3. zu zeigen:

–) $EG(x, \omega) \equiv 0$ ist trivialerweise erfüllt.

–) $R(x) \cdot (x - \mu_k) \leq -\lambda(x - \mu_k)(x - \mu_k)$ gilt beispielsweise mit $\lambda = 1$.

–) $G(x, t, \omega)$ ist, wie aus (B./35) ersichtlich, trivial faktorisierbar in $U(x, t) = 1$ und $V(t, \omega)$ und $E\,|V(t, \omega)|^\gamma < C$ mit $\gamma = 4$ und wegen (B./33).

Bemerkung: Mit Satz B7. bleiben auch die Konsistenzaussagen von rekursiven Schätzfunktionenfolgen erhalten, die einerseits auf der Konstruktion (B./32) basieren und andererseits auf Beobachtungswerten, die einem stark mischenden stationären Prozeß entstammen (vgl. beispielsweise rekursive Dichteschätzung).

Für andere Abhängigkeitsstrukturen konnten ähnliche Konvergenzaussagen noch nicht hergeleitet werden. Auch die Stetigkeitsbedingungen an die Dichtefunktion für konsistente Quantilwertschätzungen waren bislang nicht wesentlich abzuschwächen, obwohl in der Nutzung dieser Kenngröße auch bei diskreten Verteilungen keine nachteiligen Wirkungen beobachtbar waren. Die Lösung dieser Probleme bleibt einer weiteren Forschungsarbeit vorbehalten.

B.2. Praktikable Gestaltung des Korrekturfaktors — Konvergenzbeschleunigung

Von großem praktischem Interesse ist die Gestaltung der Zahlenfolge $\{a_t\}$ in der Rekursionsvorschrift (B./18). Die Wahl

$a_t = \dfrac{c}{t}\ t = 1,2,\ldots\ c = \text{const.}$ (B./36)

wird von den Bedingungen (B./4) her nahegelegt und auch in Verfahren der Stochastischen Approximation genutzt. Insbesondere bei ungünstigem Startwert ist aber dann die entsprechende Schätzfunktionenfolge oft praktisch nicht mehr verwendbar, weil die Korrekturgröße rasch sehr klein wird und die Konvergenz sehr langsam ist. Diese Tatsache führte sogar dazu, daß die praktische Verwertbarkeit von Algorithmen dieser Art insgesamt angezweifelt wurde.

In der Literatur wird unter Nachweis des Erhalts der starken Konsistenz der Schätzfunktionenfolgen folgende Gestaltung vorgeschlagen.

Es sei

$$b_t = \frac{c}{t} \quad c = \text{const.} \quad \text{und} \qquad (B./37)$$

$$a_1 = b_1, \quad a_2 = b_2, \quad a_t = b_{t_n} \quad \text{mit}$$

$$t_n = 2 + \sum_{i=3}^{n} f[(x_i - x_{i-1})(x_{i-1} - x_{i-2})], \quad n = 3, 4, \ldots$$

und

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } x \leq 0 \\ 0 & \text{falls } x > 0. \end{cases}$$

Inhaltlich bedeutet diese Wahl der Folge $\{a_t\}$, daß der Faktor vor dem Korrekturglied erst jeweils dann verkleinert wird, wenn sich in der Iterationsfolge (über drei Werte beobachtet) die "Korrekturrichtung" verändert.

Dieser Ansatz bringt den Vorteil, wie bei zahlreichen praktischen Anwendungen nachgewiesen werden konnte, daß selbst bei "weit vom Konvergenzwert entferntem" Startwert die Iterationsfolge sich relativ schnell (meistens weniger als 20 Schritte) in einer praktisch schon zufriedenstellenden Umgebung des Konvergenzwertes befand.

Diese Beobachtungen wurden durch Simulationsstudien für eine Vielzahl von Verteilungen nochmals bestätigt und die unterschiedlichen Verhaltensweisen der üblichen (B./36) und der Iterationsfolgen mit (B./37) bezüglich der Konvergenzbeschleunigung veranschaulicht. Die Realisierung von rekursiven Algorithmen unter Verwendung von Zahlenfolgen nach (B./35) aber auch nach (B./37) auf Mikrorechnersystemen in Echtzeit und als Bestandteil z. B. einer Signalanalyse birgt in Gestalt der notwendigen Rechenoperation "Division" weitere Probleme in sich. Günstig würde sich eine Beschränkung im Divisor auf 2er Potenzen auswirken, weil sie dann auf jedem Rechner in Form schneller Registerrotationsbefehle realisierbar ist.

Diese Bedingungen und die Forderung (B./4) erfüllen Folgen der Gestalt

$$a_t^{(P)} = \frac{1}{2^{\min\{k}} \quad (B./38)$$

$t = 1, 2, \ldots$, k natürliche und p ganze Zahl.

Beispielsweise sind dies für $p = -1, 0, 1$ die Folgen:

$$p = -1, \quad 2 \quad \underbrace{1 \; 1}_{2\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{2} \; \tfrac{1}{2} \; \tfrac{1}{2} \; \tfrac{1}{2}}_{4\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{4} \; \tfrac{1}{4} \ldots \tfrac{1}{4}}_{8\text{mal}} \ldots$$

$$p = 0, \quad 1 \quad \underbrace{\tfrac{1}{2} \; \tfrac{1}{2}}_{2\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{4} \; \tfrac{1}{4} \; \tfrac{1}{4} \; \tfrac{1}{4}}_{4\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{8} \; \tfrac{1}{8} \ldots \tfrac{1}{8}}_{8\text{mal}} \ldots$$

$$p = 1, \quad \tfrac{1}{2} \quad \underbrace{\tfrac{1}{4} \; \tfrac{1}{4}}_{2\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{8} \; \tfrac{1}{8} \; \tfrac{1}{8} \; \tfrac{1}{8}}_{4\text{mal}} \quad \underbrace{\tfrac{1}{16} \; \tfrac{1}{16} \ldots \tfrac{1}{16}}_{8\text{mal}} \ldots$$

Die Bedingung

$$\sum_{t=1}^{\infty} a_t^{(p)} = \infty$$

ist trivialerweise erfüllt.

Weiter ist

$$\sum_{t=1}^{\infty} (a_t^{(p)})^2 = \sum_{k=p}^{\infty} \frac{1}{2^k} \cdot 2^{k-p} = \sum_{k=p}^{\infty} 2^{-(k+p)} = \frac{1}{2^{2p}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2^k} = \frac{1}{2^{2p-1}} < \infty.$$

Für $p=0$ gilt

$$a_{2^k}^{(0)} = \frac{1}{2^k}$$

und damit stimmt das 2^k-te Folgeglied mit dem 2^k-tem Glied der Folge

$$a_t = \frac{1}{t}$$

überein.

In der rechentechnischen Realisierung ist natürlich zu beachten, daß die möglichen Rotationszahlen mit der Gesamtbitzahl der Darstellung der Größen a_t beschränkt sind.

Weiter ist zu bemerken, daß Folgenkonstruktionen der Form (B./38) mit denen nach (B./37) kombiniert werden können.

B.3. Adaptive (nicht konsistente) Statistiken

Die bis auf die Bedingungen (B./4) frei wählbare Folge $\{a_t\}_{t=1,2,\ldots}$ und der beliebige Startwert der Iteration ermöglichen eine adaptive Gestaltung von Schätzfunktionenfolgen. Wie in Abschnitt B./2 beschrieben, beeinflußt diese Folge wesentlich, zumindest im praktischen Sinn, die Konvergenzgeschwindigkeit.

In zahlreichen Anwendungsfällen muß nun zusätzlich davon ausgegangen werden, daß sich z. B. zu analysierende Signale nur stückweise durch stationäre Zufallsfolgen modellieren lassen. In diese Aufgabenklasse fallen sowohl die in der Literatur beschriebenen Probleme der Robustheit von Statistiken unter der Bedingung von möglichen Strukturbrüchen, als auch die Lokalisierung von sogenanten "change points".

Dahingehend steht die Frage, wie sich die in B./1 beschriebenen Schätzfunktionenfolgen unter Bedingungen von Strukturbrüchen und Trends verhalten. Simulationsergebnisse weisen aus, daß Strukturbrüche z. B. in Form einer sprunghaften Mittelwertveränderung der betrachteten Zeitreihe dann einen weniger großen Einfluß auf das Konvergenzverhalten der rekursiven Schätzalgorithmen haben, wenn das Korrekturglied durch die Folge $\{a_t\}_{t=1,2,\ldots}$ noch wenig komprimiert ist (also wenn der Strukturbruch bei einem kleinen Wert von t auftritt).

Diese Tatsache legt den Gedanken nahe, für das automatische Anpassen der Schätzfunktionenfolge an den zu schätzenden Wert (auch unter der Bedingung einer möglichen Änderung in Form von Strukturbrüchen und Trends) die Gestaltung dieser Folge zu benutzen. Im Regelfall sind jedoch der Grad der Adaptivität und das Konvergenzverhalten sich gegensätzlich beeinflussende Faktoren. Wird $a_t=c=\text{const.}$ gewählt, kann eine sehr rasche Anpassung erzielt werden, aber eine Konvergenz im mathematischen Sinne liegt wegen der Verletzung der Bedingungen (B./4) nicht mehr vor. Am Beispiel der Momentenschätzung kann jedoch verdeutlicht werden, daß dieser Fall von großem praktischen Interesse ist. Es läßt sich nachweisen, daß sie so gestalteten rekursiven Statistiken mit dem häufig benutzten Verfahren der exponentiellen Glättung übereinstimmt.

Satz B8

Für $a_t=c=\text{const.}$, $0<c<1$, läßt sich die Schätzfunktionenfolge (B./19) (o.B.d.A. für $k=1$) in der folgenden Gestalt darstellen:

$$M_t = (1-c)^t M_0 + c \sum_{i=1}^{t} (1-c)^{t-i} \xi_i \quad t = 1, 2, \ldots \quad \textbf{(B./39)}$$

Wird mit $\mu := E\,\xi_i$ und $\sigma^2 := \operatorname{Var} \xi_i$ bezeichnet, gilt außerdem:

$$E\,M_t = \mu + (1-c)^t (M_0 - \mu) \quad t = 1, 2, \ldots \quad \text{(B./40)}$$

$$E\,(M_t - \mu)^2 = \frac{\sigma^2 c^2 (1-(1-c)^{2t})}{1-(1-c)^2} + (1-c)^t (M_0 - 1) \quad \text{(B./41)}$$

$$\lim_{t\to\infty} E(M_t - \mu)^2 = \frac{c \cdot \sigma^2}{2-c} \quad \text{(B./42)}$$

Beweis: Es sei M_0 Startwert und

$$M_{t+1} = M_t - c(M_t - \xi_{t+1}).$$

Dann läßt sich M_1 und M_2 leicht in die Form (S.3.39) bringen:

$M_1 = M_0 - c(M_0 - \xi_1) = (i\text{-}c)\, M_0 + c \cdot \xi_1$

$M_2 = M_1 - c(M_1 - \xi_2) = (1-c)\, M_1 + c \cdot \xi_2$

$= (1-c)^2 M_0 + c(1-c)\,\xi_1 + c \cdot \xi_2$

Für beliebiges t wird (B./39) durch vollständige Induktion gezeigt.
Es sei

$$M_t = (1-c)^t M_0 + c \sum_{i=1}^{t} (1-c)^{t-i} \xi_i$$

Dann folgt

$$M_{t+1} = M_t - c(M_t - \xi_{t+1}) = (1-c) M_t + c\xi_{t+1}$$

$$= (1-c)^{t+1} M_0 + c \sum_{i=1}^{t} (1-c)^{t-i+1} \xi_i + c\xi_{t+1} \, (1-c)^0$$

$$= (1-c)^{t+1} M_0 + c \sum_{i=1}^{t+1} (1-c)^{t+1-i} \xi_i$$

was zu zeigen war.
Mit leichten Umformungen erhält man die weiteren Aussagen des Satzes:

1. $$E\ M_t = (1-c)^t M_0 + c \sum_{i=1}^{t} (1-c)^{t-i} \cdot \mu$$

$$= (1-c)^t M_0 + \mu \cdot (1-(1-c)^t)$$

$$= \mu + (1-c)^t\,(M_0 - \mu)$$

2. Es sei $\alpha := 1 - c$.

$$E(M_t - \mu)^2 = E\left((\alpha^t M_0 - \mu) + (1-\alpha) \sum_{i=1}^{t} \alpha^{t-i} \xi_i\right)^2$$

$$= (\alpha^t M_0 - \mu)^2 + 2(\alpha^t M_0 - \mu)\,(1-\alpha^t)\mu + E\left(\sum_{i=1}^{t} (1-\alpha)\alpha^{t-i} \xi_i\right)^2$$

$$= (\alpha^t M_0 - \mu)^2 + 2(\alpha^t M_0 - \mu)\,(1-\alpha^t)\mu + ((1-\alpha^t)\mu)^2 + \sigma^2 (1-\alpha)^2 \frac{1-\alpha^{2n}}{1-\alpha^2}$$

$$= ((\alpha^t M_0 - \mu) + \mu(1-\alpha^t))^2 + \sigma^2\,(1-\alpha)^2 \frac{1-\alpha^{2n}}{1-\alpha^2}$$

$$= (\alpha^t M_0 - \alpha^t) + \sigma^2 (1-\alpha)^2 \frac{1-\alpha^{2n}}{1-\alpha^2}$$

wegen $\sum_{i=1}^{n} (\alpha^2)^{n-i} = \sum_{i=0}^{n-1} (\alpha^2)^i = \frac{1-\alpha^{2n}}{1-\alpha^2}$ und $\mathrm{Var}\,\xi = E\ \xi^2 - (E\ \xi)^2$.

3. Wegen $\lim_{n \to \infty} \sum_{i=1}^{n} (\alpha^2)^{n-i} = \frac{1}{1-\alpha^2}$

wird $\lim_{t \to \infty} E\,(M_t - \mu)^2 = (1-\alpha)^2\ \sigma^2 \frac{1}{1-\alpha^2} = \sigma^2 \frac{1-\alpha}{1+\alpha} = \sigma^2 \frac{c}{2-c}$.

Bemerkung: Wird $M_0 = \xi_0$ (erster Meßwert) gewählt, gilt

$E\,M_t = \mu$ und $E(M_t - \mu)^2 = \sigma^2 \frac{c^2 (1-(1-c)^{2t})}{1-(1-c)^2}$

Die Erfindung soll anhand von Ausführungsbeispielen erläutert werden.

1) Epilepsiemonitoring

Zur Diagnose, Therapie und Therapieverlaufskontrolle von epileptischen Anfallsleiden ist der Einsatz einer automatischen Erkennung und Weiterverarbeitung von epileptischen Graphoelementen des Elektroenzephalogramms (EEG) notwendig. Dabei wird mit Hilfe von Meßelektroden des EEG (Elektroenzephalogramm — elektrische Hirnaktivität) auf der Kopfhaut des Menschen **1** ein- oder mehrkanalig erfaßt und über entsprechende Verstärkertechnik einer Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** zugeführt. Die Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** besteht entweder aus einem ein- oder mehrkanaligen Analog/Digital-Wandler, mit dessen Hilfe die Meßwerte (EEG) computergerecht digitalisiert werden, oder aus einem tragbaren Aufzeichnungsgerät (Holter-Technik Telemetrie), das eine Langzeitaufzeichnung dadurch gewährleistet, daß es am Patienten angebracht werden kann. Die Registrierung mittels Aufzeichnungsgerät kann digital erfolgen, dann wird vor der Speicherung (z. B. Magnetkassette) eine Analog/Digital-Wandlung ausgeführt. Die digitalisierten Meßwerte werden einer Meßwertverarbeitungseinrichtung **7** übergeben, in der die Auswertung erfolgt. Mittels einer Zusatzeinrichtung **14** wird das Ergebnis der Auswertung entweder sofort dem Patienten bzw. dem Arzt mitgeteilt oder für eine spätere Auswertung aufgezeichnet oder gespeichert.

Im Ausführungsbeispiel besteht die Meßwertverarbeitungseinrichtung aus einer Rechnereinheit. Hierbei beginnt die Verarbeitung der Meßwerte damit, daß die Meßwerte durch eine Einleseeinrichtung **8** auf den Speicherplatz des Rechners gebracht werden. Diese Einrichtung zum Einlesen **8** wird durch Rechnerbaugruppen in der Form gebildet, daß die Daten entweder vom Analog/Digitalwandler oder vom Aufzeichnungsträger (z. B. Digitalmagnetkassette) über den Rechnerbus in den Arbeitsspeicher gelangen. Danach kann mit der Verarbeitung der Meßwerte begonnen werden. Dies erfolgt mit der Zielstellung solche Signalmuster (Graphoelemente) in den Signalverläufen zu erkennen, die eine vom Normal-EEG abweichende Charakteristik aufweisen und epileptische Aktivität kennzeichnen. Dies können sogenannte Spikes, Spike-Wave-Komplexe, Sharp-Waves und epileptische Anfallsaktivität in unterschiedlicher Ausprägung sein.

Um die Erkennung derartiger Signalcharakteristika realisieren zu können, wird eine Einrichtung zum Vergleich von Werten in Form einer Vergleichseinrichtung **9** benötigt. Diese Einrichtung gewährleistet, daß ein ständiger Vergleich des Verlaufs von EEG-Werten mit vorgegebenen Werten erfolgt. Diese Werte können als apriori-Wissen wertmäßig abgespeichert und durch die Vergleichseinrichtung **9** abgerufen oder durch die Vergleichseinrichtung **9** ermittelt werden.

Es ist dabei davon auszugehen, daß die Vergleichseinrichtung **9** durch Berechnungsalgorithmen darzustellen sind, die programmäßig für die Rechnerimplementierung realisiert werden. Dieser Algorithmus (Algorithmen) gewährleistet den Vergleich eines wertemäßigen Unter- bzw. Überschreitens zwischen EEG-Werten und vorgegebenen Werten. Gemäß der visuellen Klassifikation von epileptischen Graphoelementen unterscheiden sich diese von der sogenannten Hintergrundaktivität des EEG (Hintergrundaktivität des EEG kennzeichnet die normale EEG-Signalcharakteristik wie sie vom Arzt eingeschätzt wird) durch unterscheidbare Veränderungen in Amplitude, Frequenz, Musterausprägung (Spike-Wave) und Dauer von Graphoelementen. Somit können ärztliche Erfahrungswerte (vorgegebene Werte) zum Vergleich herangezogen werden, d. h. vom Algorithmus berücksichtigt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung von Vergleichswerten (vorgegebene Werte) aus den EEG-Werten selbst. Dies erfolgt beispielsweise dadurch, daß zurückliegende EEG-Werte mit aktuellen Werten verglichen werden. Ein epileptisches Graphoelement ist dann in der Art erkennbar und hinsichtlich seiner Dauer abgrenzbar, daß die Überschreitung der mit einem Faktor multiplizierten zurückliegenden EEG-Werte durch die aktuellen EEG-Werte den Anfang des Graphoelementes kennzeichnet und das Unterschreiten dessen Ende. Die zurückliegenden EEG-Werte würden dann die Charakteristik der Hintergrundaktivität vor dem Auftreten des Graphoelements kennzeichnen.

Der vorzugebende Grad der Abweichung des epileptischen Graphoelements von der Hintergrundaktivität wird durch den Multiplikationsfaktor (Multiplikation von Auswerteergebnissen zurückliegender EEG-Werte) in den Vergleichsalgorithmus eingebracht.

Von der Vergleichseinrichtung wird sowohl eine Starteinrichtung **10** als auch eine Stopeinrichtung **11** gesteuert. Diese steuern wiederum eine Zusatzeinrichtung **14**, die durch die Starteinrichtung **10** eingeschaltet (aktiviert) und durch die Stopeinrichtung ausgeschaltet (deaktiviert) wird. Mit dem Erkennen eines epileptischen Graphoelements wird dieses aus der Folge von EEG-Werten herausgenommen und auf einem separaten Speicherbereich abgespeichert (Zusatzeinrichtung **14** oder Speicher **12**). Die Starteinrichtung **10** wird durch einen Algorithmus realisiert, der nach der Erkennung des Anfangs des epileptischen Graphoelements den Speicherbereich aktiviert und den Speicher mit der nach dem Anfangspunkt des Graphoelements kommenden Folge von EEG-Werten beschreibt. Mit der Erkennung des Endes des Graphoelements wird das Beschreiben des Speichers beendet. Dies wird durch den Algorithmus vorgenommen, der die Stopeinrichtung **11** realisiert. Die Zusatzeinrichtung **14** besteht aus einer Einheit, die die abgespeicherten Graphoelemente mit notwendigen Zusatzinformationen für den Arzt verfügbar macht. Eine solche Einheit kann durch Rechnerbaueinheiten realisiert werden, indem die gespeicherten Graphoelemente in geeigneter Form auf dem Bildschirm dargestellt werden. Notwendige Zusatzinformationen sind der Zeitpunkt des Beginns und des Endes des Graphoelements (zeitlicher Kontext) sowie die Kennzeichnung für den Registrierkanal (topografischer Kontext). Die Zusatzinformationen werden von der Start- bzw. Stopeinrichtung **10, 11** gesichert.

Die Zusatzeinrichtung **14** wird durch einen Klassifizierer vervollständigt. Die abgespeicherten Graphoelemente können somit hinsichtlich ihrer Signaleigenschaften klassifiziert und dargestellt werden. Zwischen dem Einlesen der Meßwerte durch die Einrichtung zum Einlesen **8** und dem Vergleichen mit vorgegebenen Werten in der Vergleichseinrichtung **9** wird eine Bewertungseinrichtung **20** geschaltet. Diese dient zur Datenreduktion und

verarbeitet die Meßwerte (EEG-Meßwerte) zu EEG-Werten. Dabei können Verrechnungen der EEG-Meßwerte genutzt werden, die die unterschiedlichen Signaleigenschaften von Hintergrundaktivität und epileptischen Graphoelementen kennzeichnen können. Es stehen hierfür folgende Berechnungen zur Verfügung:

- Spitzenwerte der Meßwerte (a)
- Mittelwertbildung (b)
- Effektivwert (c)
- Quantilwerte (d)
- gleitende Mittelwertschätzung (e)
- gleitende Momentenfunktionsschätzung (f)
- gleitende zentrierte Momentenfunktionsschätzung (g)
- rekursive Schätzung der Momentenfunktion (h)
- rekursive Schätzung der zentrierten Momentenfunktion (i)
- rekursive Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion (j)
- rekursive Schätzung von Funktionen akkumulierter Differenzen (k)
- rekursive Schätzung von Quantilwertintervallgrenzen (m)
- rekursive Schätzung des Mittelwertes in Form der Quantilwertintervallmitte (n)
- Bildung von adaptiven Mittelwerten des absoluten Betrages (o)
- Kreuzkorrelation (p)
- adaptiv bestimmte Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q)
- rekursive Schätzung des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitungen (r).

Die genannten Berechnungen werden sowohl parallel als auch hintereinander (in Reihe) angewandt. Dies bedeutet, daß Bewertungseinrichtungen **20** parallel als auch in Reihe betrieben werden. Es wird hiermit den Unterscheidungskriterien zwischen der Hintergrundaktivität und den epileptischen Graphoelementen als auch den zwischen den Graphoelementen selbst entsprochen.

Für die Spikedetektion wird die rekursive Schätzung des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitungen (r) als erster Berechnungsschritt (Amplitudenkriterium) verwendet. Dies wird für alle Kanäle getan (Parallelschaltung von Bewertungseinrichtungen **20**). Parallel dazu wird die adaptiv bestimmte Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q) (Frequenzkriterium) ermittelt. Danach wird eine Kreuzkorrelationsberechnung (p) auf die Parameterverläufe (aller oder ausgewählter Kanäle) angewandt, die sich aus der rekursiven Schätzung des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitungen (r) ergeben. Die Auswahl geschieht auf der Grundlage von vorangegangenen Detektionsergebnissen und wird als Auswahlkriterium von der Vergleichseinrichtung **9** geliefert. Die Ergebnisse der Berechnungen werden der Vergleichseinrichtung **9** zugeführt. Ein Spike wird dann erkannt, wenn sowohl eine wertmäßig vorgegebene Überschreitung der rekursiven Schätzung des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitung als auch eine wertmäßige Überschreitung der Kreuzkorrelationswerte (inter-channel relations) vorliegt. Es wird zur Erhöhung der Effizienz der Detektion der Wertebereich der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (Frequenzkriterium) geprüft. Die Werte müssen in einem bestimmten Werteintervall liegen. Epileptische Krampfaktivität wird dadurch detektiert, daß eine rekursive Schätzung von Funktionen akkumulierter Differenzen (k) durchgeführt wird. Hierbei wird eine Schätzung für einen mittleren Frequenzinhalt der EEG-Meßwerte vorgenommen. Es wird dazu parallel die rekursive Schätzung von Quantilwertintervallgrenzen als Amplitudenkriterium berechnet. Beide Parameterverläufe werden für jeden Registrierkanal der Vergleichseinrichtung **9** zugeführt. Epileptische Krampfaktivität wird dann erkannt, wenn eine wertmäßige Überschreitung vorgegebener Werte der Vergleichseinrichtung **9** als Ergebnis des Vergleiches vorliegt. Die Effizienz beider Detektionsverfahren kann dadurch erhöht werden, daß die Bewertungseinrichtung **20** die arithmetische Verknüpfung der Meßwerte oder von Werten, die bereits in vorgeschalteten Bewertungseinheiten **20** berechnet wurden, ermöglicht. Erfolgt diese Verknüpfung in Form des sogenannten 4-NN (Nearest-Neighbours)-Interpolationsalgorithmus, so kann die Detektion im topografischen Kontext vorgenommen werden. Als Beispiel soll die Spikedetektion im topografischen Kontext erläutert werden. Die bereits oben definierten Detektionsbedingungen dienen dabei als Grundlage. Es wird zusätzlich geprüft, wie sich die topografische Verteilung des Mittelwertes der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q) im detektierten Spikeintervall gegenüber der zeitlichen Umgebung des Spikes (Hintergrundaktivität) verhält. Dies spiegelt den Sachverhalt wieder, daß die topografische Verteilung dieses Parameters von Spikeereignis zu Spikeereignis stabil und in Intervallen von Hintergrundaktivität instabil ist. Für diese zusätzliche Prüfung wird im bereits detektierten Intervall der Mittelwert der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q) ermittelt. Dieser Mittelwert wird für alle Kanäle ermittelt und über den 4-NN-Interpolationsalgorithmus zu einer Bildmatrix verarbeitet.

Diese Bildmatrix kann durch Parameter quantifiziert (z. B. Strukturiertheit des Bildes durch Varianz der Bildmatrix sowie Mittelwert der Bildmatrix) und mit vorgegebenen Werten in der Vergleichseinrichtung **9** verglichen werden. Der direkte Vergleich von Bildmatrizen (aktuellen und vorgegebenen) ist ebenfalls möglich. Bei generalisierter Spike- bzw. Krampfaktivität bilden die genannten Bildparameter eine Möglichkeit, die Zuverlässigkeit der Detektion zu erhöhen. Durch die flexible, kontextbezogene Struktur der Bewertungseinrichtung **20** (Parallelverarbeitung, Verarbeitung in Reihe) ergibt sich die Notwendigkeit einer dementsprechend angepaßten Struktur der Vergleichseinrichtung **9**. Eine Parallelschaltung von Vergleichseinrichtungen **9** ist dann

notwenig, wenn mehrere Meßkanäle verarbeitet werden. Der Grad der Parallelisierung nimmt dann nochmals mit der Anzahl der pro Kanal in der Bewertungseinrichtung **20** angewandten Berechnungsfunktionen zu. In Reihe angeordnete Vergleichseinrichtungen **9** sind für hierarchisch strukturierte Detektionsverfahren notwendig. Zur Erläuterung soll nochmals die Spikedetektion herangezogen werden. Das dazu bisher erläuterte Verfahren ging davon aus, bestimmte Parameterverläufe in der Bewertungseinrichtung **20** zu berechnen und eine Detektion durch Vergleich mit vorgegebenen Werten in der Vergleichseinrichtung **9** vorzunehmen. Zusätzliche Detektionseffizienz wird durch Einbeziehung topografischer Parameter (aus Bildmatrix errechnet) der aus dem Mittelwert der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge errechneten Bildmatrix erzielt. Der Vergleich der topografischen Parameter erfolgt nach dem Vergleich der Parameterverläufe, die zur Detektion verwendet werden. Beide Vergleichseinrichtungen **9** sind dementsprechend in Reihe geschaltet. Für die Detektion und Klassifikation epileptischer Graphoelemente ist es notwendig, in einem definierten Bereich von Abtastfrequenzen zu arbeiten. Für alle Berechnungen (Bewertungseinrichtung **20**) und den darauf angewandten Detektionsverfahren (Vergleichseinrichtung **9**) ist es wichtig, in der Regel mehr als 20 Abtastpunkte pro halbe Periodendauer zur Verfügung zu haben. Da die epileptischen Graphoelemente sowohl untereinander als auch personenbezogen variierende Grundfrequenzen aufweisen, ist eine optimale Anpassung der Abtastfrequenz notwendig. Für diesen Zweck wird zwischen der Meßwerterfassungseinheit **2, 3, 4, 5, 6** und der Einleseeinrichtung **8** eine Einstelleinrichtung **40** geschaltet. In dieser wird auf der Grundlage von Berechnungen der Momentanfrequenz bzw. der mittleren Frequenz der EEG-Meßwerte die Abtastfrequenz der Meßwerterfassungseinrichtung gesteuert. Dafür werden Berechnungsfunktionen für die Ermittlung der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge in die Einstelleinrichtung **40** implementiert. Soll das Epilepsiemonitoring besonders für die Bestimmung von Spike-Aktivität eingesetzt werden, so genügt die Sensitivität der Detektionsalgorithmen der Vergleichseinrichtung **9**. Die Zusatzeinrichtung **14** kann dann als Zähler ausgelegt sein, der die auf die Zeiteinheit bezogene Häufigkeit von Spikeaktivität auswertet. Bei Überschreitung eines kritischen Häufigkeitswertes wird eine Alarmfunktion ausgelöst, die den Patienten über das damit verbundene erhöhte Anfallsrisiko informiert. Damit können lebensgefährliche Unfallsituationen (Umgang mit kochendem Wasser, Treppensteigen etc.) vor und bei Anfällen umgangen werden, da sich der Patient auf einen möglichen Anfall einstellen kann. Voraussetzung ist eine hohe Effizienz der Spikedetektion, da eine hohe Anzahl von falsch positiven Detektionen zu Fehlalarmen und damit zur zusätzlichen Beunruhigung des Patienten führt.

2) Steuerung für Biofeedback und Funktionelle Elektrostimulation sowie Prothesensteuerung mittels Oberflächenelektromyogramm

Die ein- oder mehrkanalige Registrierung des Oberflächenelektromyogramms (EMG — elektrische Muskelaktivität) kann bei entsprechend kontextbezogener Verarbeitung für die drei Anwendungsgebiete Biofeedback, Funktionelle Elektrostimulation (FES) und Prothesensteuerung verwendet werden. Dabei wird mittels Oberflächenelektroden das EMG registriert und verstärkt. Die verstärkten EMG-Meßwerte werden einer Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** zugeführt, danach in der Meßwertverarbeitungseinrichtung **7** ausgewertet und Werte, die aus der Verarbeitung resultieren, der Zusatzeinrichtung **12** (im nachfolgenden Steuereinrichtung genannt) übergeben. Durch die Steuereinrichtung **12** werden Signale erzeugt, die

a) für den Biofeedback Einrichtungen steuern, die dem Patienten visuell oder akustisch eine Eigenkontrolle von der Normalfunktion abweichender und zu therapierender Körperfunktionen ermöglichen (z. B. Muskelverspannungen),
b) für die Funktionelle Elektrostimulation eine Reizeinrichtung steuern, die von der Normalfunktion abweichenden und zu therapierenden Körperfunktionen durch elektrische Reizung der Normalfunktion zu korrigieren und anzunähern versucht,
c) für die Prothesensteuerung Steuersignale erzeugen, die Prothesen durch bewußte und gezielte Aktivierung von Muskeln zu gerichteten Bewegungen veranlassen, die natürliche Bewegungen nachvollziehen.

Die Meßwerterfassung besteht aus einem ein- oder mehrkanaligen Analog/Digital-Wandler der die EMG-Meßwerte digitalisiert. Eine Einleseeinrichtung **8** ermöglicht die Speicherung der digitalisierten EMG-Meßwerte. Die Einleseeinrichtung **8** besteht dabei aus Rechnerbaueinheiten, die den Transport der EMG-Meßwerte vom Analog/Digital-Wandler über den Rechnerbus in den Arbeitsspeicher des Rechners realisieren. Um die Erkennung von definierten Signalcharakteristika realisieren zu können, wird eine Einrichtung zum Vergleich von Werten in Form einer Vergleichseinrichtung **9** benötigt. Diese Einrichtung gewährleistet, daß ein ständiger Vergleich des Verlaufs von EMG-Werten mit vorgegebenen Werten erfolgt. Diese Werte können als apriori-Wissen wertmäßig abgespeichert und durch die Vergleichseinrichtung **9** abgerufen oder durch die Vergleichseinrichtung **9** ermittelt werden. Es ist dabei davon auszugehen, daß die Vergleichseinrichtung **9** durch einen oder mehrere Berechnungsalgorithmen darzustellen ist, die programmäßig für die Rechnerimplementierung realisiert werden. Die Algorithmen gewährleisten den Vergleich eines wertemäßigen Unter- bzw. Überschreitens zwischen EEG-Werten und vorgegebenen Werten. Weiterhin ist durch die Vergleichseinrichtung **9** zu gewährleisten, daß die Übereinstimmung des Wertebereiches der aktuellen EMG-Werte mit einem vorgegebenen Wertebereich ermittelt, das Verlassen eines vorgegebenen nicht notwendig zusammenhängenden Wertebereiches signalisiert, die Änderung der aktuellen EMG-Werte in einem vorbestimmten Zeitintervall um mehr als eine vorbestimmte Konstante erkannt und Zustände der Folge der aktuellen EMG-Werte wie monoton wachsend oder monoton fallend oder monoton streng wachsend oder monoton streng fallend oder konstant oder ein inverser Zustand der vorstehend angegebenen Zustände ermittelt werden können. Die beschriebenen Zustände

von EMG-Werten können die Abweichung vom Normzustand (apriori-Vorgabe oder vom Algorithmus erlernt) darstellen, die die Vergleichseinrichtung **9** ermittelt und mit dem Ergebnis eine Starteinrichtung **10** und eine Stopeinrichtung **11** steuert. Diese steuern wiederum eine Steuereinrichtung **12**, die durch die Starteinrichtung **10** eingeschaltet (aktiviert) und durch die Stopeinrichtung ausgeschaltet (deaktiviert) wird. Einige konkrete Beispiele sollen dies verdeutlichen. Für den Biofeedback ist es wesentlich, das Über- und Unterschreiten einer EMG-Aktivität festzustellen. Die Steuereinrichtung **12** besteht in diesem Fall aus einer Einrichtung, die dem Patienten visuell oder akustisch eine Eigenkontrolle von der Normalfunktion abweichender und zu therapierender Körperfunktionen ermöglicht (z. B. Muskelverspannungen). Vom Patienten oder Arzt wird die Signalwirkung so eingestellt, daß entweder das Über- oder Unterschreiten dem Patienten mitgeteilt oder das Verbleiben im vorgegebenen Wertebereich signalisiert wird. Die Wahl wird vom gewünschten Therapieziel oder von individuellen Kriterien des Patienten abhängig gemacht.

Die Starteinrichtung **10** startet dann die Steuereinrichtung **12**, die die Signalisierung erzeugt, und die Stopeinrichtung **11** schaltet die Signalisierung durch die Steuereinrichtung **12** aus. Die Steuereinrichtung **12** kann in diesem Fall aus einer akustischen Einrichtung oder einer Lichtsignaleinrichtung bestehen. Im Fall der Funktionellen Elektrostimulation und der Prothesensteuerung werden dynamische Eigenschaften der EMG-Werte wie die Änderung der aktuellen EMG-Werte in einem vorbestimmten Zeitintervall um mehr als eine vorbestimmte Konstante und die Dynamik der Folge der aktuellen EMG-Werte wie monoton wachsend oder monoton fallend oder monoton streng wachsend oder monoton streng fallend oder konstant oder ein inverser Zustand der vorstehend angegebenen Zustände ausgewertet. Dem Auswerteergebnis entsprechend wird die Steuereinrichtung **12** über die Starteinrichtung **10** eingeschaltet und über die Stopeinrichtung **11** ausgeschaltet. In diesem Fall stellt die Steuereinrichtung **12** das Stellglied oder ein Teil des Stellgliedes eines geschlossenen Regelkreises dar. Der Regler besteht aus der Vergleichseinrichtung **9** mit einem Soll-Istwertvergleich (Vergleich zwischen vorgegebenen und aktuellen EMG-Werten). Hierbei kann die Steuereinrichtung **12** ausgeschaltet (Stopeinrichtung **11**) werden, wenn extrem unphysiologische EMG-Werte (Über- und Unterschreiten) erkannt werden. Dies kann durch Meßartefakte (Loslösung der Elektroden, Kabelbruch u. a. m.) bedingt sein. Der Stelleingriff durch die Steuereinrichtung **12** würde bei der Funktionellen Elektrostimulation zu überhöhten Reizströmen führen und bei der Prothesensteuerung zu unerwünschten Auslenkungen. Bleiben die EMG-Werte in einem vorgegebenen Wertebereich so ist eine Regelwirkung wirksam, die hinsichtlich ihrer Regeldynamik modifiziert werden kann. Dies geschieht durch Zu- bzw. Abschalten von Korrekturgliedern definierter Dynamik, die aus der Regeltechnik bekannt sind. Dazu wird ebenfalls die Start- bzw. Stopeinrichtung **10, 11** verwendet. Welche Korrekturglieder zu- bzw. abgeschaltet werden, hängt davon ab, ob die Änderung der aktuellen EMG-Werte in einem vorbestimmten Zeitintervall um mehr als eine vorbestimmte Konstante erkannt oder Zustände der Folge der aktuellen EMG-Werte wie monoton wachsend oder monoton fallend oder monoton streng wachsend oder monoton streng fallend oder konstant oder ein inverser Zustand der vorstehend angegebenen Zustände ermittelt wurden. Beim Biofeedback wird diese Regelung mit Dynamikkorrektur durch den Menschen (Patienten) selbst vorgenommen. Zwischen dem Einlesen der Meßwerte durch die Einrichtung zum Einlesen **8** und dem Vergleichen mit vorgegebenen Werten in der Vergleichseinrichtung **9** wird eine Bewertungseinrichtung **20** geschaltet. Diese dient zur Datenreduktion und verarbeitet die Meßwerte (EMG-Meßwerte) zu EMG-Werten. Dabei können Verrechnungen der EMG-Meßwerte genutzt werden, die die unterschiedlichen Signaleigenschaften kennzeichnen.

Es stehen hierfür folgende Berechnungen zur Verfügung:

- Spitzenwerte der Meßwerte (a)
- Mittelwertbildung (b)
- Effektivwert (c)
- Quantilwerte (d)
- gleitende Mittelwertschätzung (e)
- gleitende Momentenfunktionsschätzung (f)
- gleitende zentrierte Momentenfunktionsschätzung (g)
- rekursive Schätzung der Momentenfunktion (h)
- rekursive Schätzung der zentrierten Momentenfunktion (i)
- rekursive Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion (j)
- rekursive Schätzung von Funktionen akkumulierter Differenzen (k)
- rekursive Schätzung von Quantilwertintervallgrenzen (m)
- rekursive Schätzung des Mittelwertes in Form der Quantilwertintervallmitte (n)
- Bildung von adaptiven Mittelwerten des absoluten Betrages (o)
- Kreuzkorrelation (p)
- adaptiv bestimmte Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q)
- rekursive Schätzung des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitungen (r).

Die genannten Berechnungen werden sowohl parallel als auch hintereinander (in Reihe) angewandt. Dies bedeutet, daß Bewertungseinrichtungen **20** parallel als auch in Reihe betrieben werden.

Als EMG-Werte werden die Berechnungen:

- der Spitzenwerte (a)
- die Mittelwertbildung (b)
- die Effektivwertberechnung (c)

— die Quantilwertbestimmung (d)

aus den Wertefolgen verwendet, die die EMG-Aktivität (EMG-Meßwerte) quantifizieren. Dies sind die

— gleitende Momentenfunktionsschätzung (f)
— gleitende zentrierte Momentenfunktionsschätzung (g)
— rekursive Schätzung der Momentenfunktion (h)
— rekursive Schätzung der zentrierten Momentenfunktion (i)
— rekursive Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion (j)
— rekursive Schätzung von Quantilwertintervallgrenzen (m)
— Bildung von adaptiven Mittelwerten des absoluten Betrages (o)
— Kreuzkorrelation (p).

Um Glättungseffekte zu erreichen, kann auf alle Wertefolgen die

— gleitende Mittelwertschätzung (e)
— rekursive Schätzung des Mittelwertes in Form der Quantilwertintervallmitte (n)

angewandt werden. Die Effizienz der Auswertung von Oberflächenmyogrammen kann dadurch erhöht werden, daß die Bewertungseinrichtung **20** die arithmetische Verknüpfung der Meßwerte oder von Werten, die bereits in vorgeschalteten Bewertungseinheiten **20** berechnet wurden, ermöglicht. Erfolgt diese Verknüpfung in Form des sogenannten 4-NN (Nearest-Neighbours)-Interpolationsalgorithmus, so kann die Auswertung im topografischen Kontext vorgenommen werden. Über ein Muskelareal werden Elektroden zur Registrierung des Oberflächenelektromyogramms angebracht, die die flächenmäßige Auswertung der elektrischen Muskelaktivität ermöglichen. Über Verstärker, die Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** und die Einleseeinrichtung **8** werden die EMG-Meßwerte der Bewertungseinrichtung **20** zugeführt. Hier werden die Parameter berechnet, die leistungsäquivalent (physikalische Leistung) sind.

Dies sind alternativ

— Effektivwert (c),
— Quantilwerte (d),
— gleitende Momentenfunktionsschätzung (f),
— gleitende zentrierte Momentenfunktionsschätzung (g),
— rekursive Schätzung der Momentenfunktion (h),
— rekursive Schätzung der zentrierten Momentenfunktion (i),
— rekursive Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion (j) und
— rekursive Schätzung von Quantilwertintervallgrenzen (m).

Diese Parameter (EMG-Werte) werden durch Mittelwertbildung (b) in definierten Zeitintervallen leistungsdichteäquivalent gemacht. Dieser Mittelwert wird für alle Kanäle ermittelt und über den 4-NN-Interpolationsalgorithmus zu einer Bildmatrix verarbeitet. Diese Bildmatrix kann durch Parameter quantifiziert (z. B. Strukturiertheit des Bildes durch Effektivwert (c) der Bildmatrix sowie Mittelwert (b) der Bildmatrix) und mit vorgegebenen Werten in der Vergleichseinrichtung **9** verglichen werden. Der direkte Vergleich von Bildmatrizen (aktuellen und vorgegebenen) ist ebenfalls möglich. Somit können für die Biofeedbackanwendung, die Funktionelle Elektrostimulation und die Prothesensteuerung auch topografische Aktivitätsmuster einbezogen werden. Durch die flexible, kontextbezogene Struktur der Bewertungseinrichtung **20** (Parallelverarbeitung, Verarbeitung in Reihe) ergibt sich die Notwendigkeit einer dementsprechend angepaßten Struktur der Vergleichseinrichtung **9**. Eine Parallelschaltung von Vergleichseinrichtungen ist dann notwendig, wenn mehrere Meßkanäle verarbeitet werden. Der Grad der Parallelisierung nimmt dann nochmals mit der Anzahl der pro Kanal in der Bewertungseinrichtung **20** angewandten Berechnungsfunktionen zu.

Zur Funktionsfähigkeit von Biofeedback, Funktioneller Elektrostimulation ist es notwendig, daß zwischen Vergleichseinrichtung **9** und Starteinrichtung **10** und/oder zwischen Vergleichseinrichtung **9** und Stopeinrichtung **11** (Fälle A) und/oder zwischen Bewertungseinrichtung **20** und einer weiteren Bewertungseinrichtung **20** und/oder zwischen der Vergleichseinrichtung **9** und einer weiteren Vergleichseinrichtung **9** und/oder zwischen der Bewertungseinrichtung **20** und der Vergleichseinrichtung **9** (Fälle B) eine Zeitverzögerungseinrichtung **30** geschaltet ist. Damit werden zeitliche Unterschiede korrigiert, die sich aus

— den unterschiedlichen Rechenzeiten für die einzelnen Algorithmen und
— z. B. Verzögerungsunterschiede, die sich aus den unterschiedlichen Fensterlängen bei gleitenden Berechnungen ergeben (Fälle B).

Weiterhin ist es notwendig, Zeitverzögerungseinrichtungen zur Dynamikkorrektur der Regelung bei Funktioneller Elektrostimulation und Prothesensteuerung einzusetzen (Fälle A). Da die registrierten Oberflächenelektromyogramme untereinander als auch personenbezogen variierende Frequenzbereiche aufweisen, ist eine optimale Anpassung der Abtastfrequenz notwendig. Für diesen Zweck wird zwischen der Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** und der Einleseeinrichtung **8** eine Einstelleinrichtung **40** geschaltet. In dieser wird auf der Grundlage von Berechnungen der Momentanfrequenz bzw. der mittleren Frequenz der EEG-Meßwerte die Abtastfrequenz der Meßwerterfassungseinrichtung **2, 3, 4, 5, 6** gesteuert. Dafür werden Berechnungsfunktionen

für die Ermittlung der rekursiven Schätzung von Funktionen akkumulierter Differenzen (k) oder der adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahl der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge (q) in die Einstelleinrichtung **40** implementiert.

Patentansprüche

1. Mit einem biologischen Objekt **(1)** über mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtungen **(2, 3, 4, 5, 6)** verbundene Meßwertverarbeitungseinrichtung **(7)**, die mit einer Zusatzeinrichtung **(12, 13, 14)** gekoppelt ist, wobei die Meßwertverarbeitungseinrichtung **(7)** umfaßt:
eine erste Einrichtung **(8)** zum ein- oder mehrkanaligen Einlesen von Meßwerten von mindestens einer der Meßwerterfassungseinrichtungen **(2, 3, 4, 5, 6)** in die Meßwertverarbeitungseinrichtung **(7)**,
eine zweite Einrichtung **(9)** zum Vergleichen der Meßwerte mit vorgegebenen Werten,
eine dritte Einrichtung **(10)** zum Starten der Zusatzeinrichtung **(12, 13, 14)**, wenn ein vorgegebener erster Wert erreicht ist,
eine vierte Einrichtung **(11)** zum Stoppen der Zusatzeinrichtung **(12, 13, 14)** wenn ein vorgegebener zweiter Wert erreicht ist,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zweite Einrichtung **(9)** zum Vergleichen der Meßwerte mit vorgegebenen ein- bzw. mehrkanaligen Meßwertstrukturen angeordnet ist,
daß die dritte Einrichtung **(10)** zum Starten der Zusatzeinrichtung **(12, 13, 14)**, wenn eine vorgegebene erste Meßwertstruktur erreicht ist, angeordnet ist,
daß die vierte Einrichtung **(11)** zum Stoppen der Zusatzeinrichtung **(12, 13, 14)**, wenn eine vorgegebene zweite Meßwertstruktur erreicht ist, angeordnet ist, und
daß zwischen erster **(8)** und zweiter Einrichtung **(9)** eine als Bewertungseinrichtung ausgebildete fünfte Einrichtung **(20)** zur Berechnung von Werten von Kenngrößen aus Meßwertfolgen zwecks Datenreduktion angeordnet ist.

2. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß ein Muster von Meßwerten oder Werten des mindestens einen Kanals **(k1, k2, k3, k4, k5)** mit einem vorgegebenen Muster verglichen wird, bei deren Übereinstimmung die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** aktiviert wird.

3. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** bei Überschreitung eines vorbestimmten Meßwertes oder Wertes aktiviert wird.

4. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** bei Unterschreitung eines vorbestimmten Meßwertes oder Wertes aktiviert wird.

5. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** aktiviert wird, wenn die Meßwerte oder Werte einen vorgegebenen nicht notwendig zusammenhängenden Wertebereich verlassen.

6. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** aktiviert wird, wenn sich die Meßwerte oder Werte in einem vorbestimmten Zeitintervall um mehr als eine vorbestimmte Konstante ändern.

7. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vergleichseinrichtung **(9)** so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung **(10)** oder die Stopeinrichtung **(11)** aktiviert wird, wenn die Meßwertfolge oder die Folge der Werte monoton wachsend oder monoton fallend oder monoton streng wachsend oder monoton streng fallend oder konstant oder ein inverser Zustand der vorstehend angegebenen Zustände annimmt.

8. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichseinrichtung **(9)** die Meßwertfolge oder die Folge von Werten eines der Kanäle **(k1, k2, k3, k4, k5)** zugeführt werden und daß der Vergleichseinrichtung **(9)** eine zweite Vergleichseinrichtung **(9)** in Reihe geschaltet ist, der die Meßwertfolge oder die Folge von Werten mindestens eines weiteren Kanals **(k2, k3, k4, k5; k1)** zugeführt werden.

9. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichseinrichtung **(9)** die Meßwertfolge oder die Folge von Werten eines der Kanäle **(k1, k2, k3, k4, k5)** zugeführt werden und daß der Vergleichseinrichtung **(9)** eine zweite Vergleichseinrichtung **(9)** parallel geschaltet ist, der die Meßwertfolge oder die Folge von Werten mindestens eines weiteren Kanals **(k2, k3, k4, k5; k1)** zugeführt werden.

10. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung **(20)** zur Ermittlung von Spitzenwerten der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.

11. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung **(20)** zur Bildung von Mittelwerten der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.

12. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung **(20)** zur Bildung von Effektivwerten der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.

13. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von Quantilwerten der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
14. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von gleitenden Mittelwertschätzungen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
15. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von gleitenden Momentenfunktionsschätzungen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
16. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von gleitenden zentrierten Momentenfunktionsschätzungen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
17. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen der Momentenfunktion der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
18. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen der zentrierten Momentenfunktion der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
19. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen für Werte der Autokorrelationsfunktion der Meßwerte als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
20. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen von Funktionen akkumulierter Differenzen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
21. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen von Quantilwertintervallgrenzen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
22. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen des Mittelwertes in Form der Quantilwertintervallmitte der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
23. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von rekursiven Schätzungen des Mittelwertes der absoluten Werte der Quantilwertintervallüberschreitungen der Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
24. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von adaptiven Mittelwerten des absoluten Betrages der Meßfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
25. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung von adaptiv bestimmten Nulldurchgangsanzahlen der um den adaptiv gebildeten Mittelwert korrigierten Meßwertfolge oder der Folge von Werten als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
26. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung rekursiver Kreuzkorrelationsfunktionen auf der Basis der Meßwertfolgen oder der Folgen von Werten zweier Kanäle (k1, k2, k3, k4, k5) als eine der Kenngrößen ausgebildet ist.
27. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) zur Bildung rekursiver Schätzungen von Funktionen akkumulierter Kreuzdifferenzen der Meßwertfolgen oder der Folgen von Werten zweier Kanäle als eine der Kenngrößen ausgebildet.
28. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewertungseinrichtung (20) die Meßwerte mindestens eines Kanals (k1, k2, k3, k4, k5) zugeführt werden und daß der Bewertungseinrichtung (20) eine zweite Bewertungseinrichtung (20) in Reihe geschaltet ist, dem die Meßwerte mindestens eines weiteren Kanals (k2, k3, k4, k5; k1) zugeführt werden.
29. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewertungseinrichtung (20) die Meßwerte mindestens eines Kanals (k1, k2, k3, k4, k5) zugeführt werden und daß der Bewertungseinrichtung (20) eine zweite Bewertungseinrichtung (20) parallel geschaltet ist, dem die Meßwerte mindestens eines weiteren Kanals (k2, k3, k4, k5; k1) zugeführt werden.
30. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewertungseinrichtung (20) die Meßwerte mehrerer Kanäle den Kanälen (k1, k2, k3, k4, k5) zugeführt werden und daß die Bewertungseinrichtung (20) zur arithmetischen Verknüpfung der Meßwerte der Kanäle (k2, k3, k4, k5; k1) ausgebildet ist.
31. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Bewertungseinrichtungen (20) und/oder Vergleichseinrichtungen (9) in Reihe und/oder parallel zueinander geschaltet sind.
32. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Vergleichseinrichtung (9) und Starteinrichtung (10) und/oder zwischen Vergleichseinrichtung (9) und Stopeinrichtung (11) und/oder zwischen der Bewertungseinrichtung (20) und einer weiteren Bewertungseinrichtung (20) und/oder zwischen der Vergleichseinrichtung (9) und einer weiteren Vergleichsein-

richtung (9) und/oder zwischen der Vergleichseinrichtung (9) und der Bewertungseinrichtung (20) eine Zeitverzögerungseinrichtung (30) geschaltet ist.

33. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitverzögerungseinrichtung (30) so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung (10) oder die Stopeinrichtung (11) zeitlich nach Übereinstimmung der Meßwertstruktur mit den vorbestimmten Meßwertstrukturen aktiviert wird.

34. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitverzögerungseinrichtung (30) so angeordnet ist, daß die Starteinrichtung (10) oder die Stopeinrichtung (11) zeitlich vor Übereinstimmung der Meßwertstruktur mit den vorbestimmten Meßwertstrukturen aktiviert wird.

35. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß der Einleseeinrichtung (8) eine Einstelleinrichtung (40) zur Einstellung der Abtastfrequenz mindestens einer Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) vorgeschaltet ist.

36. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrichtung (40) zur Einstellung der Abtastfrequenz mittels erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolgen ausgebildet ist.

37. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrichtung (40) so angeordnet ist, daß die Abtastfrequenz mittels rekursiv erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolge eingestellt wird.

38. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertungseinrichtung (20) so ausgebildet ist, daß die rekursiv gebildeten Kenngrößen als adaptiv gebildete Kenngrößen ausgeführt sind.

39. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzeinrichtung eine Steuereinrichtung (12) zum Steuern des biologischen Objektes (1) ist.

40. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzeinrichtung eine Speichereinrichtung (13) zum Speichern der Meßwerte ist.

41. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzeinrichtung eine Warneinrichtung (14) zum Anzeigen eines unerwünschten Zustandes des biologischen Objektes (1) ist.

42. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur Erfassung eines Elektroenzephalogramms ausgebildet ist.

43. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur Erfassung eines Elektromyogramms ausgebildet ist.

44. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur Erfassung evozierter Potentiale ausgebildet ist.

45. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur Erfassung kortikaler Gleichspannungspotentiale ausgebildet ist.

46. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur zusätzlichen Erfassung polygraphischer Daten ausgebildet ist.

47. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) zur zusätzlichen Erfassung mechanographischer Daten ausgebildet ist.

48. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 46, dadurch gekennzeichnet, daß die polygraphischen Daten die Messungen von Atmung, Herzfrequenz, Elektrokardiogramm, Atemfrequenz, Blutdruck, Elektrookulogramm und Temperatur beinhaltet.

49. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanographischen Daten die Messung von Kraft-, Weg-, Geschwindigkeits-, Beschleunigungs-, Druck-, Zug-, Drehmomenten- und Torsionsgrößen beinhaltet.

50. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (12) eine akustische und/odeer visuelle Signalwirkung zum Biofeedback beinhaltet.

51. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (12) eine elektrische Reizung zur Funktionellen Elektrostimulation beinhaltet.

52. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (12) eine Steuerung und Regelung von Prothesen beinhaltet.

53. Mit einem biologischen Objekt (1) über mehrkanalige Meßwerterfassungseinrichtungen (2, 3, 4, 5, 6) verbundene Meßwertverarbeitungseinrichtung (7), die mit einer Zusatzeinrichtung (12, 13, 14) gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet,

daß die Meßwertverarbeitungseinrichtung (7) eine Einleseeinrichtung (8) zum mehrkanaligen Einlesen von Meßwerten von mindestens einer der Meßwerterfassungseinrichtungen (2, 3, 4, 5, 6) umfaßt, und

daß mit der Einleseeinrichtung (8) eine Einstelleinrichtung (40) zur Einstellung der Abtastfrequenz mindestens einer Meßwerterfassungseinrichtung (2, 3, 4, 5, 6) vorgeschaltet ist.

54. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrichtung (40) zur Einstellung der Abtastfrequenz mittels erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolgen ausgebildet ist.

55. Meßwertverarbeitungseinrichtung nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstelleinrich-

tung (40) so angeordnet ist, daß die Abtastfrequenz mittels rekursiv erfaßter Mittelwertdurchgänge der Meßwertfolge eingestellt wird.

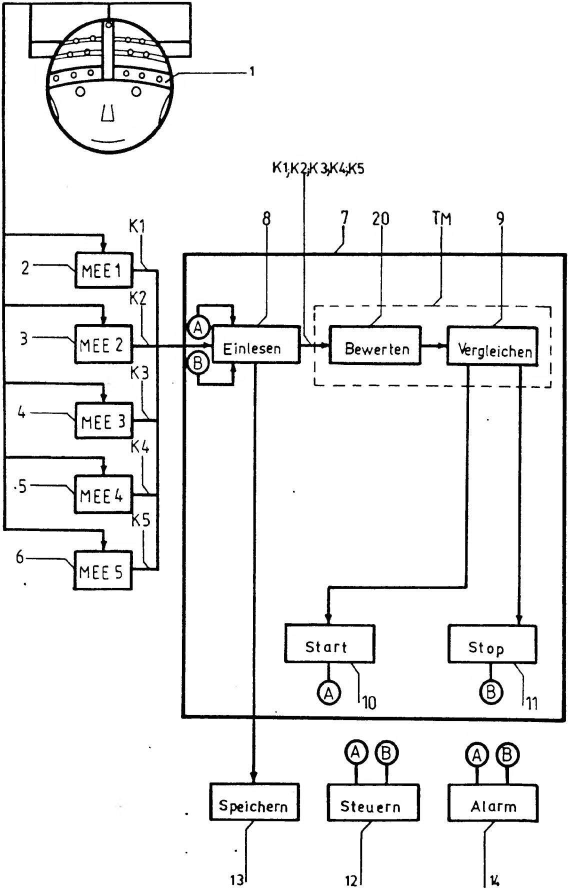
56. Mit einem biologischen Objekt (1) über mehrere Kanäle (k1, k2, k3, k4, k5) von Meßwerterfassungseinrichtungen (2, 3, 4, 5, 6) verbundene Meßwertverarbeitungseinrichtung (7), die mit einer Zusatzeinrichtung (12, 13, 14) gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwertverarbeitungseinrichtung (7) umfaßt:
eine erste Einrichtung (8) zum ein- oder mehrkanaligen Einlesen von Meßwerten von mindestens einer der Meßwerterfassungseinrichtungen (2, 3, 4, 5, 6) in die Meßwertverarbeitungseinrichtung (7),
eine zweite Einrichtung (9) zum Vergleichen der Meßwerte mit vorgegebenen Werten, wobei beim Erreichen einer ersten vorgegebenen Meßwertstruktur ein weiterer Kanal (k2, k3, k4, k5, k6) eingelesen wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

– Leerseite –

Nummer:	DE 40 39 648 A1
Int. Cl.5:	A 61 B 5/00
Offenlegungstag:	16. Juli 1992

Fig.1



Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.5: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992

Fig. 2

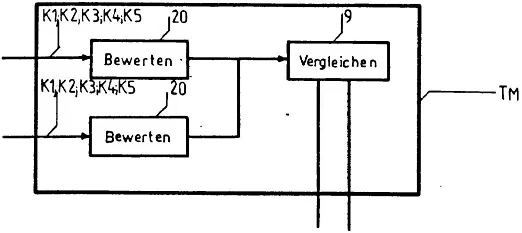
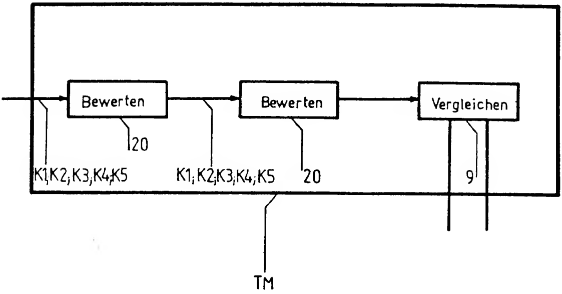
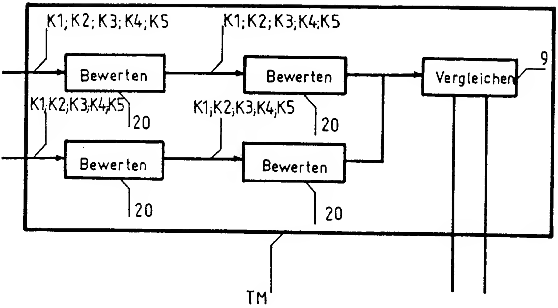


Fig.3



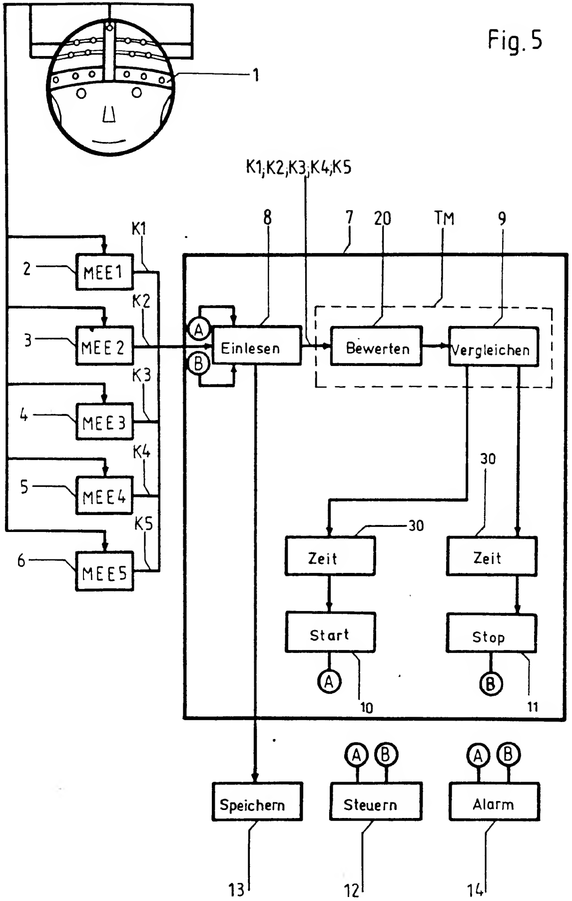
Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.5: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992

Fig. 4



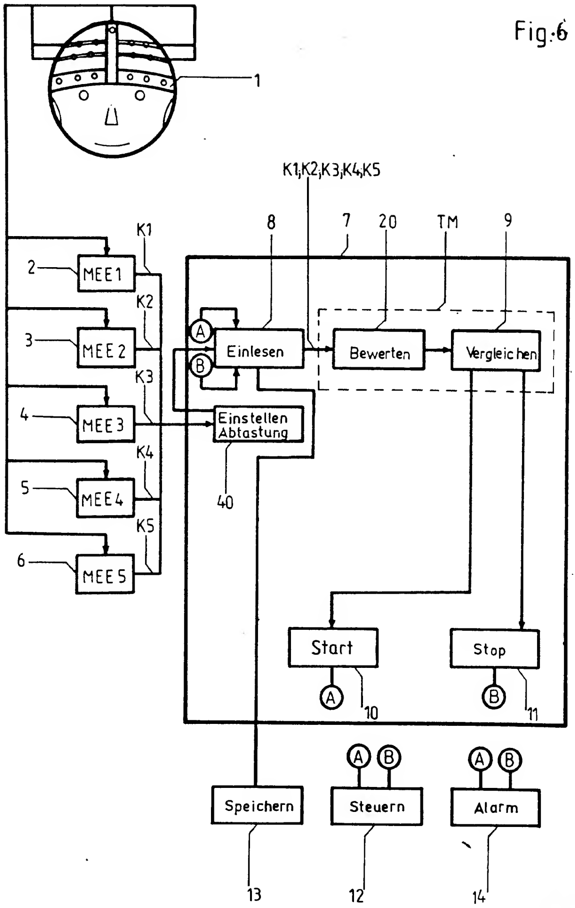
Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.5: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992

Fig. 5

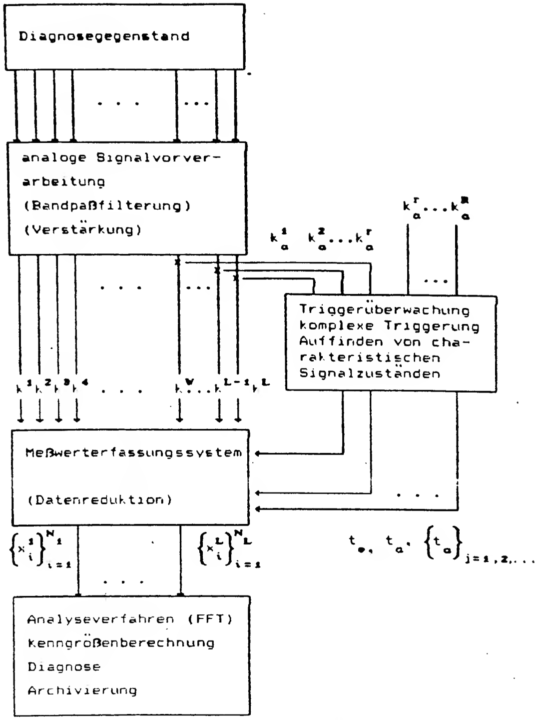


Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.5: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992

Fig. 6



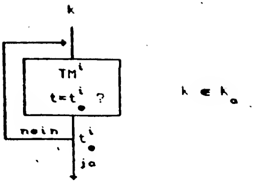
Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.⁵: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992



$L, N_i, R, i, r \in \mathbb{N}$

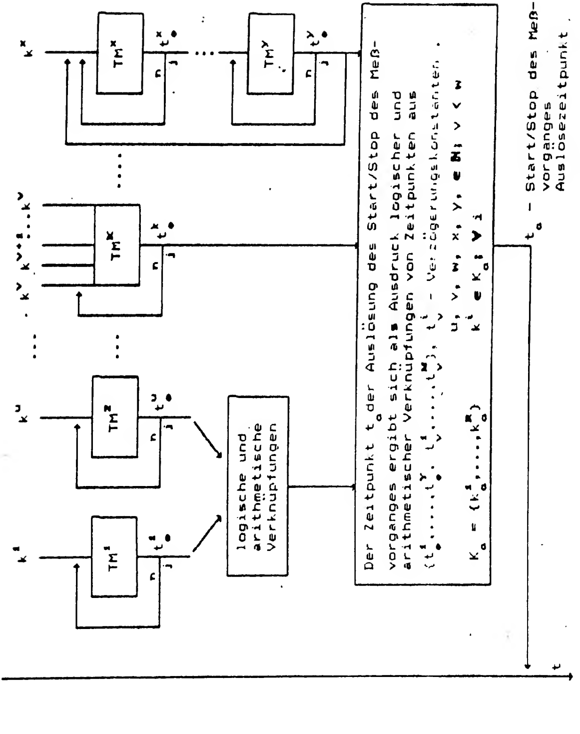
Figur A 1 Meßwerterfassungssystem (Input/Output - Beziehungen)

Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.⁵: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992



Figur A 5

Nummer: DE 40 39 648 A1
Int. Cl.^{5}: A 61 B 5/00
Offenlegungstag: 16. Juli 1992



Figur A 6 Struktur und Mustererkennung mittels komplexer Triggerung